

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE

LYON

Année 1976 - N. 6

**UNE ETUDE DE LA DIGESTION CHEZ LES EQUIDES
PAR ANALYSE DU CONTENU INTESTINAL, APRES ABATTAGE**

Thèse

présentée

à l'Université Claude Bernard LYON

(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 18 février 1976

pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Daniel GOUY

né le 25 février 1948

à Lyon



I. C. VAUBECOUR

l'Imprimerie des étudiants lyonnais

11 et 13 Rue Vaubecour
LYON 69002 - Tél. 42 - 45 - 85



Directeur Monsieur le Professeur FROGET
 Directeurs Honoraires..... MM. les Professeurs JUNG, TAPERNOUX, FLORIO

PROFESSEURS

1°- Pharmacie et Toxicologie.....	M. LORGUE
2°- Anatomie descriptive - Extérieur - Anatomie appliquée.....	M. BARONE
3°- Physiologie - Thérapeutique - Pharmacodynamie	M. BOST
4°- Histologie - Embryologie - Anatomie Pathologique	M. LUCAM
5°- Hygiène et Industrie des aliments d'origine animale.....	M. FLACHAT
6°- Parasitologie et Maladies parasitaires	M. EUZEBY
7°- Pathologie médicale des équidés et des carnivores- Législation vétérinaire.....	M. FONTAINE
8°- Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour.....	M. COTTEREAU
9°- Technique chirurgicale - Pathologie chirurgicale	M. COULON
10°- Obstétrique - Pathologie de la Reproduction.....	M. BERTRAND
11°- Pathologie générale - Microbiologie - Immunologie	M. OUDAR
12°- Ethnologie - Zootechnie - Economie rurale.....	M. FROGET
13°- Botanique appliquée - Agronomie - Alimentation.....	M. WOLTER
14°- Physique et Chimie biologiques et médicales.....	M. MAGAT
15°- Maladies contagieuses - Zoonoses - Législation sanitaire.....	M. JOUBERT

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M. FERNEY (Détaché à l'Institut de Médecine et Sciences Vétérinaires de DAKAR)
MM. CHANTEGRELET, JEAN-BLAIN, LAPRAS

MAITRES DE CONFERENCES

MM. BOIVIN, DELATOUR, DESCHANEL, LE NIHOUANEN.

MM. GASTELLU, MOUTHON

MAITRES ASSISTANTS AGREGES

MAITRES ASSISTANTS

Mme CHAUVE, MM. DALBIEZ, FARGES, FRANCK, GEVREY, Mlle LAVAL, MM. LEGEAY, PRAVE, RICHARD.

ASSISTANTS

MM. CHERMETTE, DESCHEPPER, Mlle DOMENEC, MM. FAU, GOUY, HALGRAIN, HARB, HEANEY, HECK, LABE, LENNOZ,
Mme LENNOZ, MM. LIEVRE, PAYAN, SCLAVON.

EXAMINATEURS DE LA THESE

Président : M. le Professeur..... LAMBERT
Premier Assesseur : M. le Professeur..... WOLTER
Deuxième Assesseur : M. le Professeur..... BOST

L'Université Claude-Bernard (Médecine-Pharmacie) de LYON et L'Ecole Nationale Vétérinaire de LYON, déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation, ni improbation.

A MES PARENTS

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A Monsieur le Professeur LAMBERT
de la Faculté de Médecine de Lyon

Qui nous a fait le très grand honneur
de présider notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur R. WOLTER

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

qui nous a inspiré ce travail et nous a guidé
dans son élaboration.

Pour nous avoir montré que malgré l'étendue
et la complexité des sciences, l'esprit de
synthèse est toujours d'actualité.

A Monsieur le Professeur J. BOST

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

qui a bien voulu faire partie de notre
jury de thèse.

A Monsieur le Professeur C. JEAN-BLAIN

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

qui nous a fait découvrir la nutrition.

A toutes les personnes du Service d'Alimentation

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.

A TOUS NOS MAITRES DE L'ECOLE DE LYON.

Nous remercions Monsieur le Professeur R. BARONE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

qui nous a permis d'utiliser les animaux
destinés aux travaux pratiques de la
Chaire d'Anatomie.

Ainsi que Messieurs les Professeurs P. COTTEREAU,
M. FONTAINE et L. JOUBERT
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

qui ont mis leurs écuries à notre
disposition.

UNE ETUDE DE LA DIGESTION CHEZ LES EQUIDES
PAR ANALYSE DU CONTENU INTESTINAL, APRES ABATTAGE

INTRODUCTION

Classiquement le nutritionniste définit la digestibilité pour rendre compte de la digestion, utilise les bilans pour faire intervenir les métabolismes, parle de gain moyen quotidien et d'indice de consommation afin de préciser l'efficacité zootechnique et économique de l'alimentation. Mais cette vue d'ensemble n'exclut pas la connaissance et la recherche des étapes intermédiaires.

Dès lors poussé par sa curiosité scientifique, il se rapproche du physiologiste et du biochimiste et en retour la plus grande connaissance des sciences fondamentales lui permet de modifier les techniques alimentaires pour obtenir de meilleurs résultats zootechniques adoptant ainsi la pensée de Bacon : "On ne commande à la nature qu'en lui obéissant". Dans ce but de nombreuses études du contenu du tube digestif ont été réalisées chez le porc et les ruminants, espèces de rente, alors que le cheval a été quelque peu délaissé depuis le siècle dernier. Cependant ces dernières années les travaux ont repris et permettent de mieux préciser la physiologie digestive de cette espèce.

Nous avons étudié les digesta chez les équidés. Pour cela il nous fallait accéder à ce long conduit traversant l'organisme. Deux méthodes sont alors utilisables, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. La première utilise la fistulisation qui conserve l'animal vivant et permet de renouveler les prélèvements mais seulement en point particulier du tube digestif, essentiellement

le gros intestin chez les équidés; la seconde consiste à sacrifier les animaux et analyser le contenu de l'ensemble du tractus digestif. Cette dernière méthode met en évidence l'évolution de la composition du fluide digestif ; cependant l'intervalle de temps entre le dernier repas et l'abattage de l'animal peut être variable ; par conséquent il faudrait constituer des lots d'animaux sacrifiés à des heures différentes.

Chacune de ces méthodes donne une série de clichés dont la combinaison reconstitue l'ensemble des phénomènes digestifs.

En mettant à profit les animaux destinés aux travaux pratiques de la chaire d'Anatomie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, grâce à l'obligeance de Monsieur le Professeur Barone, à la suite des travaux de WOLTER et VELANDIA (1970)(16), nous avons étudié le contenu intestinal des équidés. Disposant presque uniquement d'ânes, notre expérimentation a porté surtout sur cette espèce en vue de préciser le lieu de digestion des principaux constituants de la ration. Nous avons pu également faire la comparaison âne-cheval pour un même aliment et aussi apprécier l'influence de la présentation de la nourriture chez l'âne.

Notre travail comporte deux parties :

- La première, dans laquelle nous décrivons la conduite de l'expérimentation, tant sur l'animal, qu'au laboratoire, ainsi que les modalités d'expression des résultats.
- La seconde où nous exposons ces derniers et discutons la physiologie digestive afin d'en tirer des conclusions pratiques.

CHAPITRE I

CONDUITE DE L'EXPERIMENTATION

Le but est d'étudier la composition chimique des digesta chez les équidés en différents sites de façon à apprécier le lieu de digestion des principaux constituants de la ration. Mais il faut tout de suite remarquer que cette composition du milieu intestinal résulte non seulement de la dégradation des éléments exogènes constituant l'aliment mais aussi des éléments endogènes apportés par les sécrétions salivaires, gastriques, intestinales, biliaires et pancréatiques ou élaborés par la flore et la faune digestive. Tous ces éléments nous étant inconnus, l'étude de la seule composition chimique ne permet pas de conclure sur l'évolution de ce fluide. Il nous a donc fallu choisir un élément de référence qui ne soit ni modifié au cours du transit ni absorbé ou sécrété par la muqueuse digestive. Parmi les constituants usuels de la ration il en est peu qui répondent à ces conditions. Nous avons donc préféré introduire un élément traceur dans l'aliment et nous avons choisi l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) en poudre, incorporé de façon homogène dans la ration.

Le principe de l'expérimentation consiste donc à nourrir des équidés avec un aliment connu renfermant de l'oxyde de chrome. Après une période d'adaptation les animaux sont abattus, le contenu intestinal est recueilli, desséché puis analysé. Pour chaque portion de l'intestin nous pouvons alors exprimer la composition par rapport au traceur et ainsi suivre l'évolution du fluide en sachant que lorsqu'un élément diminue par rapport au traceur c'est qu'il est digéré et qu'au contraire lorsqu'il augmente ce sont des éléments endogènes qui interviennent. Nous allons examiner maintenant comment ont été réalisés et stockés les échantillons, puis rapidement nous

envisagerons les différentes techniques d'analyses en considérant surtout les dosages du chrome et de l'amidon. Enfin nous exposerons le mode d'expression des résultats.

A - REALISATION ET STOCKAGE DES ECHANTILLONS

Dans ce chapitre nous envisagerons rapidement les aliments, les animaux, la récolte des matières fécales, celle du fluide intestinal et le traitement immédiat de ces prises d'essai.

1 - Les aliments

Nous avons utilisé des aliments complets sous plusieurs formes : farine A, farine B, granulé C, expansé D obtenu par l'action simultanée de la chaleur et de la pression suivie d'une dépression brutale. La composition de ces aliments est indiquée dans le tableau I. Nous avons distribué 3 kg/jour aux ânes et 5 kg/jour aux chevaux, en deux repas. Les animaux n'ont reçu aucun fourrage et ne pouvaient consommer la paille de leur litière, de sorte que l'alimentation était bien connue. Ils disposaient également d'eau à volonté.

TABLEAU N° I

Composition centésimale des aliments
(p100 de la matière sèche)

	Chrome	Matières azotées brutes	Cellulose	Amidon	Extrait éthéré	Cendres	Calcium	Phosphore
farine A	0,313	15,71	16,47	29,85	4	9,76	1,65	0,47
farine B	0,100	10,77	19,85	37,89	2,92	9,67	1,68	0,44
granulé C	0,119	11,27	19,02	35,1	3,63	8,2	1,51	0,42
expansé D	0,119	11,51	15,52	37,44	3,07	9,11	1,79	0,3

2 - Les animaux

Nous avons expérimenté sur 14 équidés, 10 ânes et 4 chevaux, déparasités systématiquement et nourris pendant 4 semaines avec l'aliment étudié. La tête a été entravée avec deux longes de façon à empêcher la consommation de la paille de litière. Les caractéristiques des animaux et l'aliment utilisé pour chacun sont résumés dans le tableau n° 2.

TABLEAU n° 2

Caractéristiques des animaux et aliment consommé

Numéro	Espèce	Sexe	Poids vif (kg)	Aliment
1	cheval	femelle	450	A
2	cheval	mâle	535	A
3	âne	femelle	216	A
4	âne	mâle	210	A
5	âne	mâle	147	A
6	cheval	mâle	480	B
7	cheval	femelle	350	B
8	âne	mâle	280	B
9	âne	femelle	200	B
10	âne	femelle	270	C
11	âne	femelle	150	C
12	âne	mâle	170	C
13	âne	femelle	130	D
14	âne	mâle	180	D

3 - Récolte des matières fécales

L'utilisation du traceur autorise l'étude de la digestibilité par la méthode indirecte en se contentant d'une récolte partielle des matières fécales. Celle-ci est réalisée lors de la quatrième semaine, matin et soir pendant cinq jours. Chaque échantillon est pesé, homogénéisé et desséché à l'étuve à 85°C. On détermine ainsi l'humidité de chaque prélèvement, ce qui permet de calculer une valeur moyenne. Pour chaque animal nous avons regroupé d'une part les prises sèches du matin, d'autre part celles du soir. Elles sont broyées et conservées pour les analyses. Nous disposons donc d'une moyenne, sur une semaine, des matières fécales du matin et du soir, soit pour chaque animal deux échantillons fécaux auxquels vont s'ajouter les prélèvements du contenu intestinal.

4 - Récolte du contenu intestinal

Après quatre semaines d'adaptation ayant assuré d'une part l'élimination des digesta provenant de l'alimentation antérieure, d'autre part la stimulation des systèmes enzymatiques et de la flore, les animaux sont sacrifiés. Nous avons distribué un repas 2 à 3 heures avant l'abattage. Selon ARGENZIO et coll. (1974) (4) 2 heures après le repas on retrouve dans le coecum la phase liquide et des particules de taille variable. Le coecum sera donc un site important à étudier car il donne une bonne image de la digestion dans l'intestin grêle, les fermentations coecales étant encore limitées. De plus ces mêmes auteurs signalent une sélection au niveau de l'estomac, la phase liquide et les éléments fins franchissant l'intestin grêle au cours de la première heure, les plus grossiers transitant ensuite. En ce qui nous concerne, 2 heures après le repas, le jéjunon iléon a donc déjà été traversé par la phase liquide et les fines particules; par contre il doit renfermer à cet instant les plus gros constituants de la ration. Ceci est très

important et nous permettra d'interpréter certains résultats comme nous le verrons par la suite.

L'abattage, la saignée et l'éviscération ont été réalisés suivant les techniques de la chaire d'Anatomie. L'estomac et le duodénum restant en place nous avons recueilli le contenu du jéjuno-iléon et du gros intestin. Nous avons délimité 6 portions. Le jéjuno-iléon a été divisé en trois parties d'égale longueur par deux ligatures et nous avons récolté le contenu total de chacune de ces portions. Une incision de la pointe du coecum nous a livré la totalité du fluide coecal. Pour ce qui est du colon replié, une ligature sur la courbure pelvienne nous a permis de vidanger d'une part le colon ventral, d'autre part le colon dorsal. Selon ARGENZIO et coll. (1974) (4) ces deux compartiments sont homogènes et il n'est pas nécessaire de distinguer le colon ventral droit et gauche ni le colon dorsal droit et gauche.

5 - Traitement immédiat et stockage des échantillons

Pour chacune des portions considérées, le contenu total ainsi obtenu est pesé et homogénéisé à la spatule en vue d'obtenir une composition moyenne pour chaque segment du tube digestif. Ensuite nous faisons deux prises d'essai, la première soumise directement à la dessiccation à l'étuve à 85°C indique l'humidité. Le résidu sec est broyé, stocké et utilisé pour la plupart des analyses. La seconde reçoit de l'acide sulfurique à 2 p.100 de façon à abaisser le pH au-dessous de 4 et ainsi fixer l'azote volatil, puis elle subit la déshydratation ; le résidu sec est broyé et sert au dosage de l'azote.

Pour chaque animal, nous disposons de 8 échantillons, 2 fécaux et 6 de contenu intestinal représentant les 1er, 2ème et 3ème tiers du jéjuno-iléon, le coecum, le colon ventral et le colon dorsal. Tous ces prélèvements ainsi traités se présentent sous forme d'une poudre fine prête à l'analyse.

B - TECHNIQUES D'ANALYSE

Dans notre expérimentation, l'oxyde de chrome est l'élément de référence. Il est donc fondamental de le doser avec précision. C'est ce que nous envisagerons dans la première partie, considérant ensuite le dosage des autres constituants et notamment celui de l'amidon.

1 - Dosage du chrome

Nous avons utilisé la spectrométrie d'absorption atomique. Cette technique est basée sur le fait qu'un atome ne peut absorber que les radiations qu'il est capable d'émettre. Le chrome amené à l'état d'atome, reçoit une radiation ayant même longueur d'onde que celle qu'il émet en passant de l'état excité à l'état fondamental; on étudie l'absorption de l'énergie correspondante par l'atome de chrome.

Pour amener cet élément sous forme atomique on utilise une flamme obtenue par la combustion d'un mélange d'air et d'acétylène. La solution aqueuse est pulvérisée grâce au nébuliseur et les gouttelettes ainsi formées traversant la flamme. Au niveau du dard, la chaleur dissocie les composés du chrome et celui-ci passe sous forme atomique à des niveaux d'énergie divers. Mais dans le panache presque tous les atomes se trouvent dans l'état fondamental. La radiation dont nous étudions l'absorption est émise par une lampe à cathode creuse au chrome fonctionnant suivant le principe du tube de Geissler. Cette radiation frappe les atomes de chrome présents dans la flamme, et l'absorption est mesurée à l'aide d'un photomètre. L'utilisation d'une gamme étalon permet d'établir une relation entre les densités optiques mesurées et la concentration en chrome de la solution. Pour ces mesures nous avons utilisé l'appareil UNICAM SP 100 avec les caractéristiques suivantes :

- . longueur d'onde : 357,9 nm
- . courant de lampe : 12,5 mA
- . fluides - air : 4,7 l/mn
- acétylène : 1,3 - 1,6 l/mn
- . fente : 0,1 mm
- . hauteur du brûleur : 0,5 cm
- . gamme étalon : 1 à 15 ppm*

Nous avons dosé le chrome sur des échantillons de 0,5 g de matière sèche qui ont été calcinés au four à 550° C pendant 6 heures. Les cendres ainsi obtenues ont été traitées par un mélange d'acide orthophosphorique et de sulfate de manganèse ainsi que par une solution de bromate de potassium de façon à solubiliser le chrome. Au mélange ainsi obtenu, on ajoute du chlorure de calcium de sorte que la solution finale renferme 500 ppm de calcium. Dans ces conditions les interférences du magnésium, des silicates et des phosphates sont masquées.

2 - Dosage des éléments usuels

a - Matières azotées

Nous avons réalisé le dosage de l'azote total après minéralisation de 0,5 g de matière sèche dans un matras suivant la technique classique de KJELDAHL.

b - Cellulose

Nous avons adopté la méthode de SCHARRER plus simple et surtout beaucoup plus rapide que celle de WEENDE. Cette technique nécessitant une seule hydrolyse par un mélange d'acides acétique, trichloracétique et nitrique, conduit à des valeurs un peu plus fortes que la méthode

*ppm = partie par million

de WEENDE qui comprend en plus une hydrolyse alcaline. Ces dosages ont été effectués sur 1 g de matière sèche.

c - Cendres, calcium, phosphore

Nous avons minéralisé 1 g de matière sèche au four à 550° C pendant 6 heures ce qui nous a permis de déterminer le pourcentage de cendres. Celles ci sont solubilisées par l'acide chlorhydrique puis l'acide nitrique et la solution ainsi obtenue sert aux dosages du calcium et du phosphore. Pour le calcium nous recourons au spectromètre d'émission atomique.

La teneur en phosphore est appréciée par colorimétrie après combinaison au phosphovanadomolybdate d'ammonium qui donne une coloration jaune.

d - Extrait éthéré

Nous avons dégraissé 10 g de matière sèche par l'éther éthylique à l'aide de l'appareil de Soxhlet. Nous dosons ainsi l'extrait éthéré, ce qui est peu intéressant car difficile à interpréter et représente un faible pourcentage de la ration. Mais nous obtenons également le produit sec délipidé nécessaire pour le dosage de l'amidon.

3 - Dosage de l'amidon

Nous traitons à part le dosage de l'amidon car il présente quelque originalité. Classiquement en alimentation on définit l'extractif non azoté (ENA) qui est pratique car obtenu par simple différence. On le calcule en effet en retranchant à la matière sèche les matières azotées, les matières grasses, les minéraux et la cellulose Weende. Il

représente donc les glucides autres que la Cellulose. Résultant du calcul, il a l'inconvénient, d'une part de cumuler les erreurs sur les différents dosages, d'autre part d'être de nature très variable en fonction du produit analysé.

Reprenant la méthode de CHARLIER et coll. (1974) (7), nous avons dosé l'amidon et les sucres éthanalososolubles dans chaque échantillon de façon à étudier leur digestion.

L'amidon est un mélange de deux polymères, l'amylose constitué de glucopyranose α à enchaînement 1 - 4 et l'amylopectine formée d'une chaîne principale 1 - 4 et de ramifications 1 - 6 donnant un ensemble buissonnant. L'amylose et l'amylopectine peuvent être hydrolysées par action de l'amyloglucosidase qui rompt les liaisons 1 - 4 et 1 - 6, libérant ainsi du glucose. Le dosage de l'amidon peut donc se ramener, après hydrolyse, à un dosage de glucose que nous avons réalisé à l'autoanalyseur Technicon par coloration à l'ortho-toluidine. A partir de l'extrait sec dégraissé, nous avons effectué d'une part l'extraction alcoolique des sucres permettant le dosage du glucose A, d'autre part l'hydrolyse de l'amidon donnant le glucose B. Ceci nous permet alors de calculer la teneur en amidon par la relation suivante :

$$\text{AMIDON} = (B - A) \times 0,9$$

a - Extraction des sucres éthanalososolubles

Nous avons isolé les sucres à partir de 2,5 g de matière sèche dégraissée par 150 ml d'alcool éthylique à 80 p. 100 à l'aide de l'extracteur de Soxhlet pendant 5 heures

b - Hydrolyse de l'amidon

L'hydrolyse de l'amidon a été effectuée, sur 0,5 g d'extract sec délipidé, en deux temps : tout d'abord la gélatinisation et ensuite l'hydrolyse enzymatique.

L'amidon gélatinisé par chauffage à l'autoclave à 130° C pendant 1 heure et 15 minutes subit ensuite une hydrolyse enzymatique par une amyloglucosidase en présence de tampon acétate à pH 4,6 pendant 5 heures à 60° C. L'enzyme utilisée est l'amyloglucosidase de Rhizopus Delemar provenant de la Société Japonaise SHIM NIKON CHEMICAL. Dès la fin de l'hydrolyse nous avons filtré sur fiole jaugée et complété à l'eau distillée.

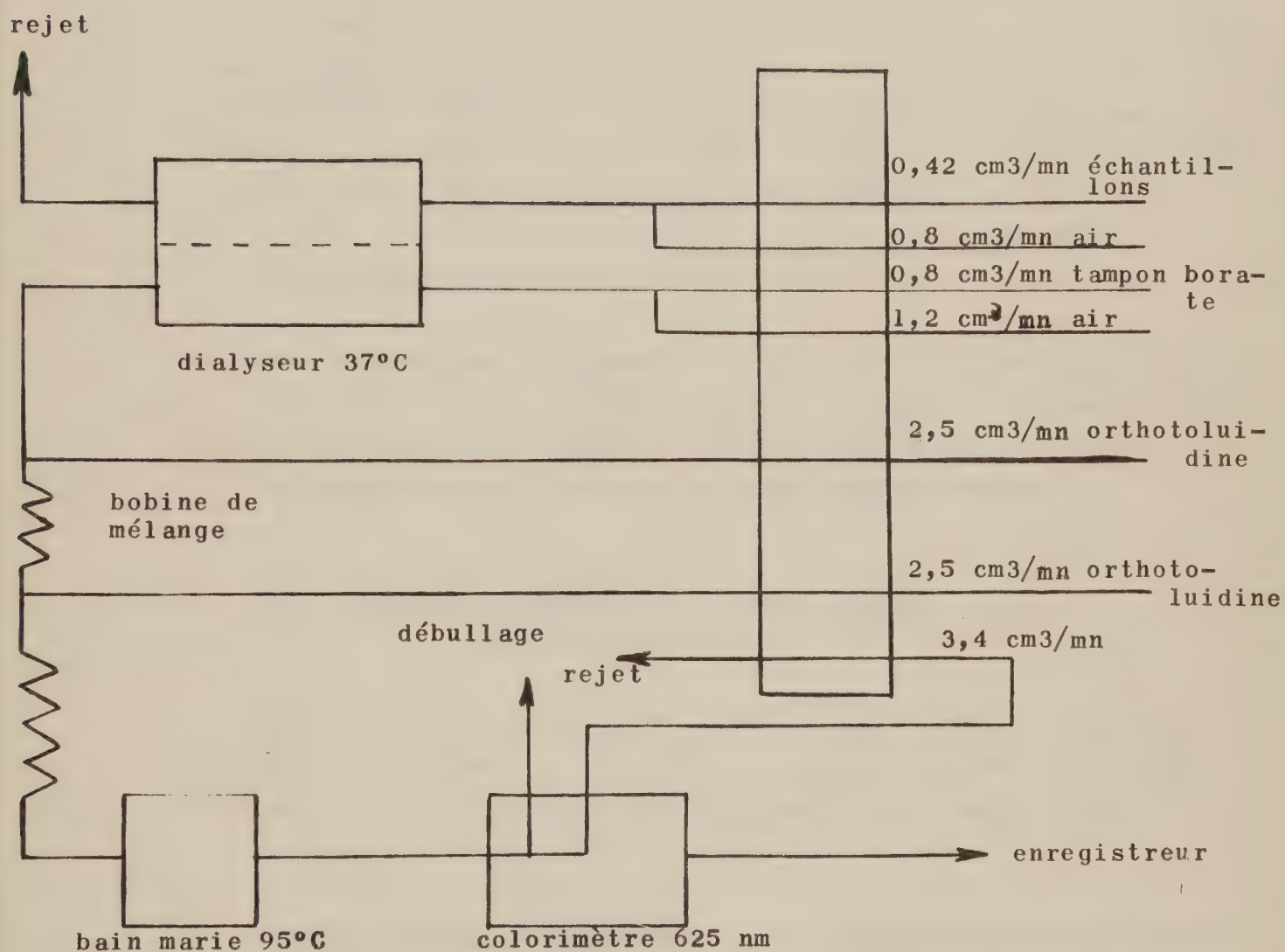
Les solutions de glucose ainsi obtenues en milieu alcoolique ou aqueux ont été conservées au froid en présence de merthiolate à 0,01 p 100 pour inhiber les dégradations bactériennes, en attendant le dosage colorimétrique.

c - Dosage colorimétrique du glucose :

Le glucose en milieu acétique peut se combiner sélectivement à l'orthotoluidine en donnant une coloration vert-bleu. Ce principe a été utilisé pour son dosage à l'aide de l'autoanalyseur technicon dont le montage est indiqué sur le schéma n° I.

SCHEMA N° I

MONTAGE DE L'AUTONALYSEUR POUR LE DOSAGE DU GLUCOSE



C - EXPRESSION DES RESULTATS

A la suite de ces analyses nous obtenons pour chaque échantillon la teneur en chrome, matières azotées, cellulose, cendres calcium, phosphore, extrait éthéré, sucres et amidon en pourcentages de la matière sèche. A l'aide de ces chiffres nous exprimerons la digestibilité totale, la digestibilité partielle calculée pour chaque portion de l'intestin, le pourcentage digéré dans chaque segment du tube digestif et la digestibilité locale. Nous allons définir tous ces termes.

I - Digestibilité totale

Par définition la digestibilité d'un élément de la ration est égale à la différence entre la quantité d'élément ingéré et la quantité d'élément fécal, rapportée à la quantité d'élément ingéré, et exprimée en pourcentage :

$$D = \frac{\text{élément ingéré} - \text{élément fécal}}{\text{élément ingéré}} \times 100$$

Dans le cas présent, nous n'avons pas mesuré la quantité exacte ingérée, ni récolté la totalité des matières fécales mais l'utilisation du marqueur permet de calculer la digestibilité en utilisant la relation suivante :

$$\frac{p \text{ 100 élément dans aliment}}{p \text{ 100 chrome dans aliment}} = \frac{p \text{ 100 élément dans les fèces}}{p \text{ 100 chrome dans les fèces}}$$

$$D = \frac{\frac{p100 \text{ élément dans aliment}}{p100 \text{ chrome dans aliment}}}{\frac{p100 \text{ élément dans les fèces}}{p100 \text{ chrome dans les fèces}}} \times 100$$

Pour chacun des constituants de la ration nous pouvons donc calculer la digestibilité. C'est ce que nous appellerons digestibilité totale par opposition aux autres que nous allons définir.

2 - Digestibilité partielle

Pour le contenu de chaque portion de l'intestin nous pouvons appliquer une relation analogue à celle définie ci-dessus pour les fèces. Nous obtenons ainsi la digestibilité en un point du tube digestif qui nous rend compte de la digestion qui s'est produite en amont. C'est ce que nous appellerons digestibilité partielle.

3 - Pourcentage digéré dans une portion du tube digestif

La comparaison de deux digestibilités partielles permet d'apprécier l'importance de la digestion dans une portion du tube digestif. Nous pouvons l'exprimer en faisant une simple différence, il s'agit alors du pourcentage par rapport à l'ingéré et la somme de ces valeurs le long du tube digestif est égale à la digestibilité totale. Mais nous pouvons aussi rapporter cette différence à la digestibilité totale et la somme des pourcentages est alors de 100. Pour faire nos tableaux et diagrammes nous avons choisi la première méthode.

Dans tous ces modes d'expression nous utilisons la digestibilité apparente puisque nous ne faisons que la différence entre ce qui pénètre et ce qui sort du tube digestif ou d'une portion plus ou moins longue de celui-ci.

Nous schématiserons ces résultats par des courbes de digestibilité partielle le long du tube digestif et des diagrammes de pourcentages digérés dans chaque portion de l'intestin. Ces représentations qui utilisent la digestibilité apparente mettent cependant en évidence les sites d'absorption ainsi que le rôle des éléments endogènes.

Nous apprécierons l'évolution de la courbe de digestibilité partielle en sachant qu'une pente positive indique que l'absorption l'emporte sur la sécrétion alors qu'une pente négative traduit le phénomène inverse. Pour ce qui est de la valeur absolue de cette pente, l'interprétation n'est pas possible car il s'agit d'une représentation schématique et non d'un graphe. Nous déterminerons donc les éléments endogènes qualitativement, dans la mesure où ils seront suffisamment abondants pour ne pas être masqués par la disparition de la fraction exogène. Cette étude peut être complétée avantageusement par le diagramme des pourcentages digérés qui indique le degré d'absorption ou de sécrétion pour chaque portion du tube digestif.

La digestibilité apparente localise donc la digestion des principaux constituants de la ration mais l'incertitude sur les sécrétions nous empêche de préciser la digestibilité réelle. Cependant pour la cellulose et l'amidon, la production endogène doit être nulle ou très faible et nous pouvons considérer que les digestibilités réelle et apparente sont égales. Au contraire pour les matières azotées et les minéraux l'imprécision est très grande, et nous ne pourrions pas évaluer la digestibilité réelle. Les sucres semblent faire exception et malgré une production très forte nous pourrions calculer la digestibilité réelle bien que ce soit d'un intérêt très limité.

4 - Digestibilité locale

Pour calculer le pourcentage digéré dans un segment d'intestin nous avons pris comme référence l'élément ingéré mais nous pouvons aussi envisager de comparer la fraction absorbée à celle qui est entrée. Nous l'appellerons digestibilité locale. Celle-ci nous renseigne sur l'absorption potentielle dans un fragment d'intestin. En effet si dans une portion du tube digestif le pourcentage absorbé est

faible, ce peut être dû à une digestibilité locale peu élevée ou à une proportion minime arrivant à ce niveau, le reste ayant été utilisé en amont. Ce dernier mode d'expression permet donc de préciser les possibilités d'absorption locale mais en fait a peu d'intérêt pour la physiologie.

Nous exprimerons nos résultats en utilisant ces différentes méthodes et en choisissant pour chaque élément celles qui nous paraîtront les plus représentatives.

CHAPITRE II

RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION

Les analyses décrites dans le chapitre précédent nous ont conduits à un grand nombre de chiffres que nous allons présenter et essayer d'interpréter. Tout d'abord les volumes recueillis nous ont amenés à des considérations anatomiques ayant un intérêt pour mieux comprendre la physiologie digestive des équidés. Puis nous étudierons l'humidité du contenu intestinal en essayant de mettre en évidence les échanges d'eau au niveau de la muqueuse digestive. Enfin nous examinerons la digestibilité de chacun des constituants de la ration pour en tirer un schéma général de la digestion chez les équidés, sur lequel nous grefferons des variantes en fonction de l'espèce et de la présentation de la ration.

A - COMPARAISON DU POIDS TOTAL ET DE CHACUN DES SEGMENTS DE L'INTESTIN CHEZ LE CHEVAL ET L'ÂNE

Ayant récolté la totalité du contenu intestinal nous pouvons comparer le volume de chacune des portions, ce qui fait apparaître des variations en fonction de l'espèce qui ont des conséquences sur la digestion. Pour cette étude nous utilisons le poids de chaque portion en pourcentage de la récolte totale et par rapport au poids de l'animal (en gramme pour 100 kg de poids vif (PV)). Les résultats figurant dans le tableau n° 3, montrent des différences entre le cheval et l'âne au niveau du jéjuno-iléon et du gros intestin.

TABLEAU n° 3

Poids du contenu intestinal chez le cheval et l'âne

	Pourcentage du poids total		Poids prélevé Poids vif (g/100kg)	
	CHEVAL	ANE	CHEVAL	ANE
Premier tiers du jéjuno-iléon	2,23	3,11	142	192
Deuxième tiers du jujéno-iléon	7,85	8,19	497	493
Troisième tiers du jéjuno-iléon	15,24	9,84	923	606
Total du jéjuno-iléon	25,32	21,14	1562	1291
Cœcum	18,79	17,63	1076	1324
Colon ventral	29,66	32,02	1870	2149
Colon dorsal	26,83	29,19	1745	1954
Total du gros intestin	65,28	79,84	4691	5427
Total	100	100	6253	6718

En ce qui concerne l'intestin grêle, TAGAND et BARONE (15) considèrent que le rapport de sa longueur à celle du corps est de 11 chez le cheval et de 10 chez l'âne, soit un développement relatif plus important chez le cheval. Nous trouvons également un poids de contenu jéjuno-iléal plus élevé chez le cheval (1562 g/100 kg PV) que chez l'âne (1291 g / 100 kg PV).

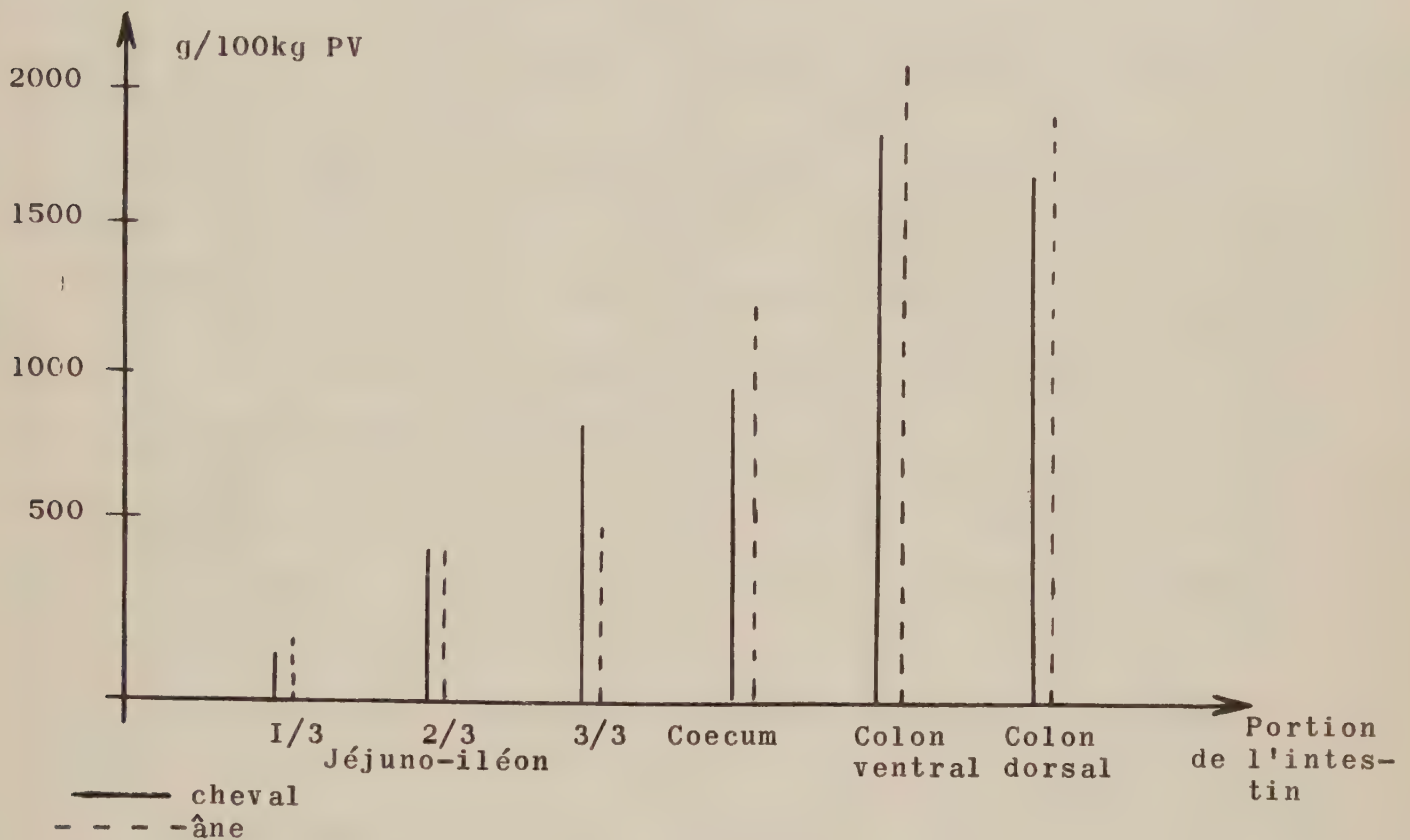
Il est à remarquer que le développement relatif est sensiblement le même pour les deux premiers tiers du jéjuno-iléon et que la différence apparaît dans la troisième portion par suite d'une dilatation importante chez le cheval qui nous est apparue nettement lors de la vidange de l'intestin.

Pour ce qui est du gros intestin, nous avons observé que le coecum de l'âne est proportionnellement plus long que celui du cheval, et il apparaît que le poids du contenu coecal ramené au poids vif est plus important chez l'âne. Les mêmes différences se manifestent au niveau du colon replié. Nous pouvons donc conclure que l'intestin de l'âne et du cheval diffèrent sur le plan anatomique avec prédominance du jéjuno-iléon chez le cheval tandis que le gros intestin est plus développé chez l'âne, comme il apparaît sur le diagramme n° 1.

Mais cette opposition n'aboutit pas à un équilibre et la masse totale du fluide intestinal est proportionnellement plus importante chez l'âne. On peut attendre de ces différences anatomiques des variations sur le plan de la digestion que nous envisagerons par la suite. Mais il faut tout de suite souligner les facultés de digestion de l'âne à l'égard de la cellulose citées par WOLTER et VELANDIA (1970)(16), et nous considérons que celles-ci sont à rapprocher du grand développement de son gros intestin. Nous remarquons également que les quantités prélevées dans chaque portion sont assez faibles et lors de la récolte, la masse intestinale nous est apparue assez flasque et peu remplie. Nous pensons que ceci est dû au type d'alimentation, les aliments complets occupant un volume beaucoup plus faible

DIAGRAMME n° I

Comparaison du poids du contenu intestinal
rapporté au poids vif chez le cheval et l'âne



que les fourrages. Nous avons donc observé sur le plan anatomique des variations en fonction de l'espèce et du type d'aliment et nous verrons que ceci se confirme sur le plan physiologique notamment en ce qui concerne l'humidité du contenu intestinal.

B - HUMIDITE DU CONTENU INTESTINAL

Pour chacune des portions de l'intestin, nous avons calculé l'humidité moyenne des digesta avec son écart-type, de façon à étudier l'évolution le long du tube digestif ainsi que l'influence de l'espèce et de la présentation de l'aliment. Les résultats groupés dans le tableau n° 4 montrent que le contenu intestinal est toujours très fluide, la teneur en eau variant de 80 à 90 p100.

TABLEAU n° 4

Humidité du contenu intestinal

(en p 100)

	CHEVAL	ANE		
	Farine	Farine	Granulé	Expansé
Premier tiers du jéjuno-iléon	91,7 $\pm$ 2,2	92,4 $\pm$ 3	86,7 $\pm$ 1	87,5 $\pm$ 2,7
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	91,7 $\pm$ 1,6 a	87,9 $\pm$ 1,9 a b c	83 $\pm$ 2,6 b	81,7 $\pm$ 3,5 c
Troisième tiers du jéjuno-iléon	91,9 $\pm$ 1,5 d	87,4 $\pm$ 1,8 d e f	83,7 $\pm$ 1,9 e	77,9 $\pm$ 4,6 f
Coecum	91,6 $\pm$ 1,4	88,8 $\pm$ 1,3	88 $\pm$ 0,5	87,9 $\pm$ 0,3
Colon ventral	84,6 $\pm$ 1,9	86,4 $\pm$ 2,8	82,4 $\pm$ 1	79,9 $\pm$ 1,8
Colon dorsal	82 $\pm$ 1,4	82,4 $\pm$ 0,8	79,8 $\pm$ 0,7	76,6 $\pm$ 0,4
Fèces	72 $\pm$ 3,3	73,1 $\pm$ 2,2	74,1 $\pm$ 2,4	70,8 $\pm$ 3

Les résultats affectés d'une même lettre diffèrent significativement.

L'humidité est la plus élevée dans l'intestin grêle et le coecum; ensuite nous observons l'augmentation de la teneur en matière sèche dans le colon replié puis dans les fèces. La déshydratation est importante entre le coecum et le colon ventral, elle résulte de l'absorption d'eau dans l'une de ces deux portions, ou dans les deux, sans que nous puissions préciser laquelle a le rôle le plus important. ARGENZIO et coll. (1974 (4)) ont montré qu'elle était massive au niveau du coecum. L'humidité élevée à ce niveau, malgré cette absorption intense, ne peut s'expliquer que par un déversement important de fluide iléal lors de la récolte. De sorte que nous pouvons assimiler le contenu coecal prélevé au résultat de la digestion dans l'intestin grêle. Le passage de l'eau à travers l'épithélium intestinal se poursuit dans le colon dorsal et est également intense dans le colon flottant. Cette évolution de l'humidité du contenu intestinal présente des variations en fonction de l'espèce animale et de la présentation de l'aliment.

I - Influence de l'espèce

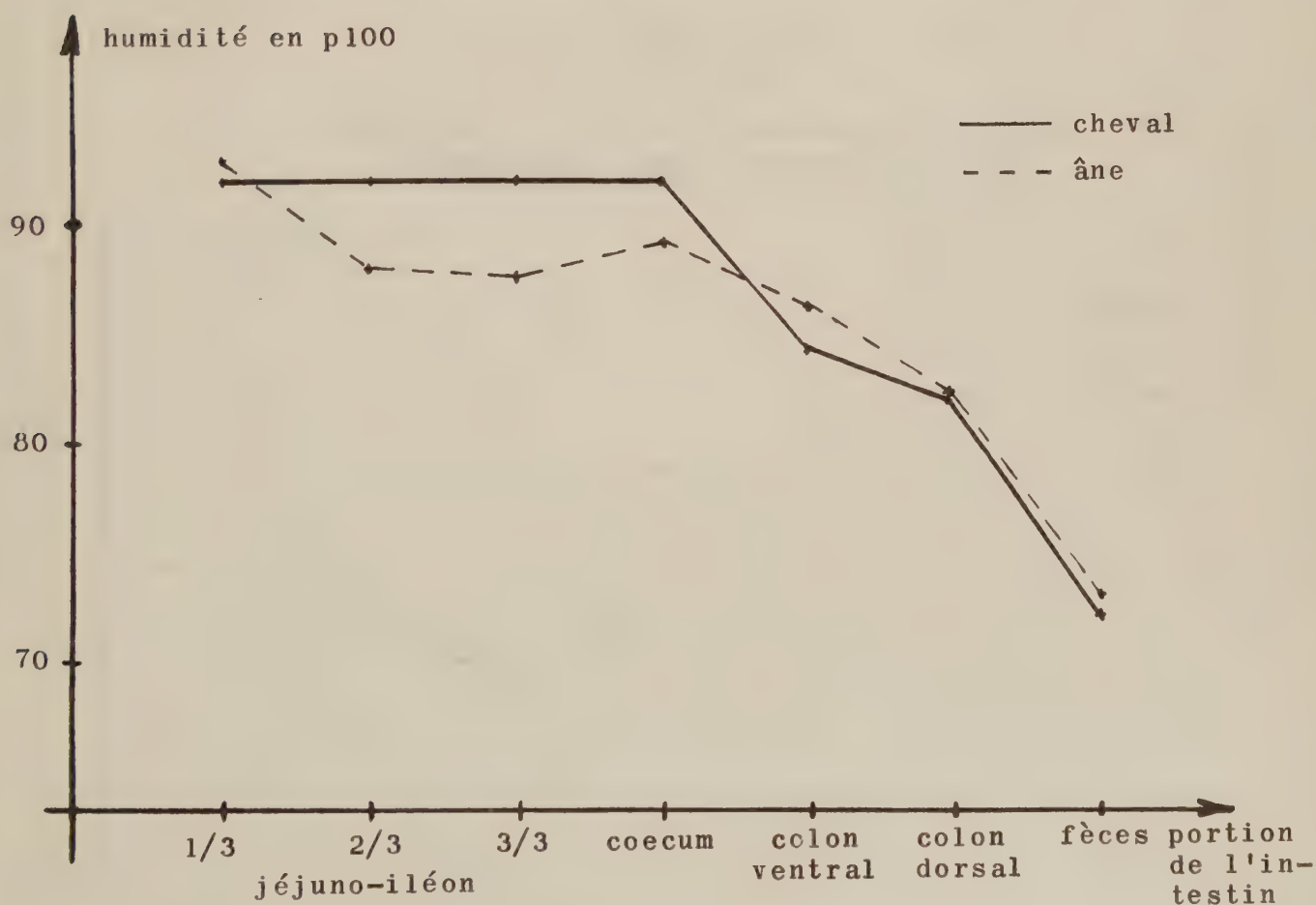
Au début du jéjuno-iléon, l'humidité est très forte et identique dans les deux espèces; puis nous observons chez l'âne une légère diminution dont l'analyse statistique nous montre qu'elle est significative ($p < 0,05$), tandis que chez le cheval il n'y a pas de variation jusqu'au coecum. Le jéjuno-iléon et le coecum du cheval ont donc une teneur en eau significativement plus élevée que ceux de l'âne.

Par contre le phénomène semble s'inverser au niveau du colon et des fèces mais l'écart n'est pas significatif. Les mouvements de l'eau dans l'intestin du cheval et de l'âne sont donc différents comme le montre le schéma n° 2. L'âne absorbe une partie de l'eau dans le jéjuno-iléon tandis que dans le gros intestin l'absorption hydrique est plus faible que chez le cheval. Ces échanges d'eau étant liés à la pression osmotique du fluide intestinal, nous pouvons faire les hypothèses suivantes : Chez l'âne l'hydrolyse des

aliments serait faible et l'absorption rapide des nutriments libérés entraînerait une partie de l'eau. Chez le cheval une hydrolyse plus intense et plus tardive augmenterait la pression osmotique donnant ainsi un fluide iléal plus riche en eau, qui se déverse dans le coecum. On peut donc supposer que la digestion enzymatique serait précoce mais limitée chez l'âne, plus tardive mais plus intense chez le cheval et ceci serait à rapprocher du développement relatif plus marqué du troisième tiers du jéjuno-iléon chez ce dernier.

SCHEMA n° 2

Humidité du contenu intestinal avec la farine
(comparaison âne-cheval)

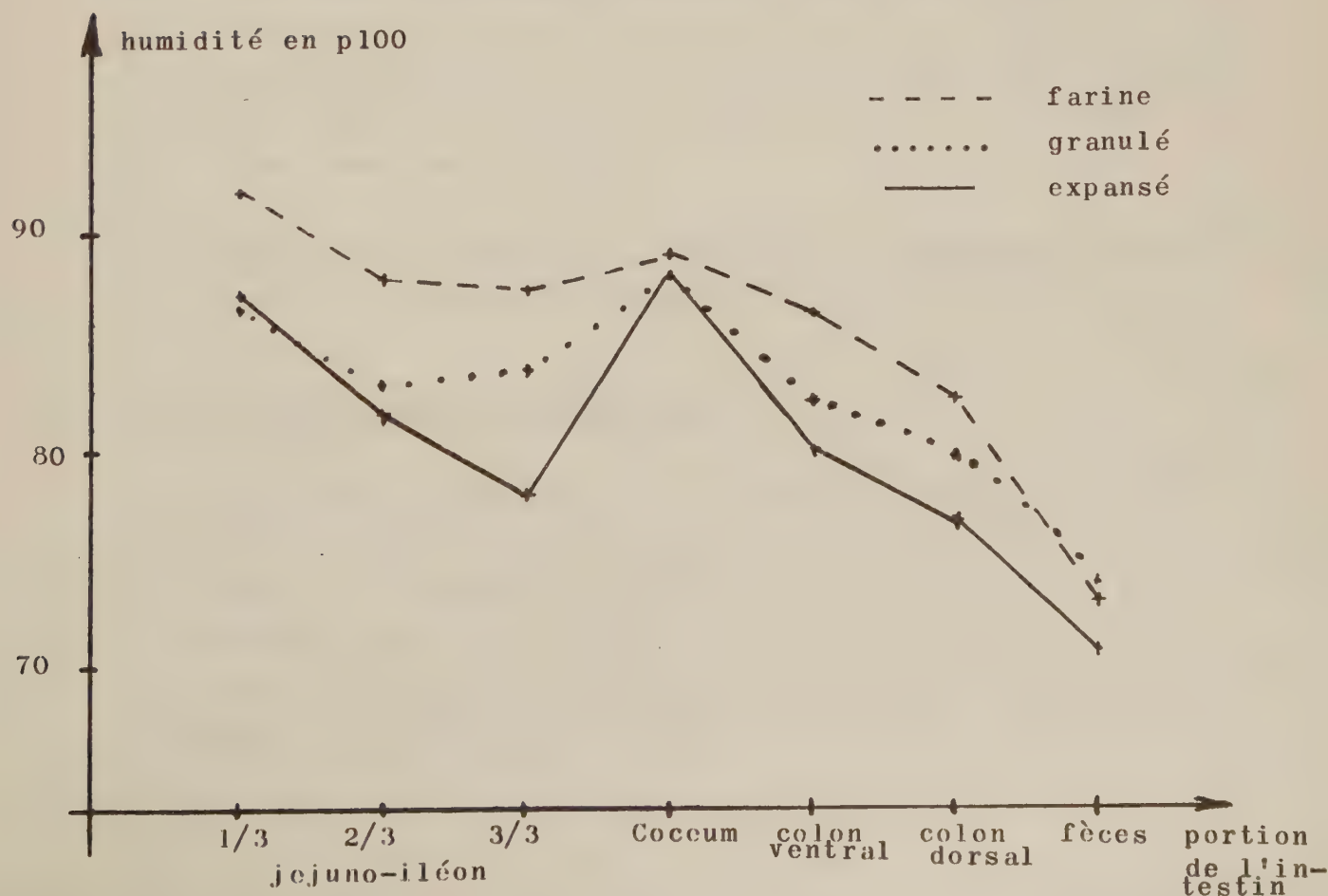


2 - Influence de la présentation de l'aliment

Avec les trois types d'aliment chez l'âne, on observe une forte hydratation initiale et une absorption d'eau au début du jéjuno-iléon et dans le gros intestin. Pour ce qui est des fèces, il n'apparaît pas de variation significative. Mais le schéma n° 3 montre des différences le long de l'intestin notamment avec la farine. En effet avec cette présentation l'humidité est significativement plus forte à tous les niveaux de l'intestin grêle. Mais entre le granulé et l'expansé, nous ne notons pas de différence. D'autre part sur le schéma, nous voyons un point de convergence au niveau du coecum. Quelle que soit la présentation, il y a alors réhydratation de sorte que l'humidité du contenu coecal est constante.

SCHEMA n° 3

Humidité du contenu intestinal chez l'âne
(comparaison farine/granulé/expansé)



Ensuite la déshydratation dans le gros intestin est plus rapide avec le granulé et l'expansé qu'avec la farine.

Les mouvements de l'eau dans l'intestin sont donc influencés par la présentation de l'aliment ; or ils dépendent de la pression osmotique qui est elle-même liée à l'absorption des nutriments. On montre ainsi indirectement que la nature physique de l'aliment peut modifier la digestion. La granulation et l'expansion favoriseraient l'absorption initiale de certains éléments, diminuant la pression osmotique et augmenteraient ainsi la teneur en matière sèche dans l'intestin grêle. Il faut également remarquer que la pression osmotique faible peut aussi provenir d'une hydrolyse moins marquée des aliments. De même le flux d'eau au niveau du coecum pourrait être relié à une fermentescibilité plus grande des digesta à ce niveau. Le traitement thermique de la granulation et de l'expansion modifierait donc les possibilités de dégradation de certains éléments de la ration et nous pensons particulièrement aux glucides (amidon et sucres) et aux protéines. Pour ce qui est de la déshydratation plus lente dans le gros intestin avec la farine nous pourrions rapprocher cela de la digestion plus tardive de l'amidon qui aboutit à une production plus intense d'acides gras volatils, lesquels pourraient retenir l'eau plus longtemps dans cette portion.

Nous allons maintenant considérer les différents éléments de la ration en commençant par la matière sèche.

C - DIGESTIBILITE DE LA MATIERE SECHE

La digestibilité partielle de la matière sèche au niveau de l'intestin grêle est très variable et l'écart type élevé souligne les nombreuses fluctuations individuelles. Elle est fréquemment négative au début du jéjunum mettant ainsi en évidence l'irruption d'éléments endogènes provenant essentiellement des sécrétions enzymatiques libérées massivement dans la

première partie du tube digestif. Par la suite nous observons une absorption progressive de la matière sèche le long de l'intestin grêle se manifestant au niveau du coecum par une digestibilité partielle de 30 à 40 p100. Celle-ci se poursuit dans le gros intestin et aboutit à une digestibilité totale de l'ordre de 60 p100. La comparaison de la digestibilité partielle chez l'âne et le cheval montre chez ce dernier une digestibilité plus élevée au niveau du coecum et plus faible au niveau des fèces, mais ces différences ne sont pas significatives. Par contre en considérant le pourcentage digéré dans chaque portion (tableau n°6) nous constatons un écart important entre ces deux espèces au niveau de l'intestin grêle. L'absorption dans le deuxième tiers du jéjuno-iléon est massive chez le cheval, faible chez l'âne. De plus, chez ce dernier, la digestibilité n'est pas fortement négative dans la première partie du jéjunum malgré le déversement vraisemblablement élevé des éléments endogènes. La digestion intense observée dans le second segment chez le cheval se déroulerait donc dans le duodenum chez l'âne. L'hypothèse précédemment émise, en considérant les mouvements d'eau, serait ainsi vérifiée. L'utilisation des nutriments dans l'intestin grêle est plus précoce chez l'âne que chez le cheval.

De même la digestion dans le gros intestin, plus forte chez l'âne, confirme ce que nous avons souligné à propos du développement relatif des réservoirs intestinaux chez les équidés.

Au sujet de la présentation, nous n'observons pas de différence significative le long de l'intestin grêle ; par contre, au niveau du coecum, la digestibilité partielle de l'expansé est significativement ($p < 0,05$) plus faible que celle de la farine ou du granulé (Schéma n°5). Ceci est en partie compensé par une digestion plus forte dans le gros intestin mais de façon insuffisante, de sorte que, contrairement aux résultats habituels WOLTER et coll.(1975) (18) la digestibilité totale de la matière sèche de l'expansé est significativement ($p < 0,05$) plus basse que celle de la farine et du granulé.

TABLEAU n° 5

Digestibilité partielle de la matière sèche
(en p100)

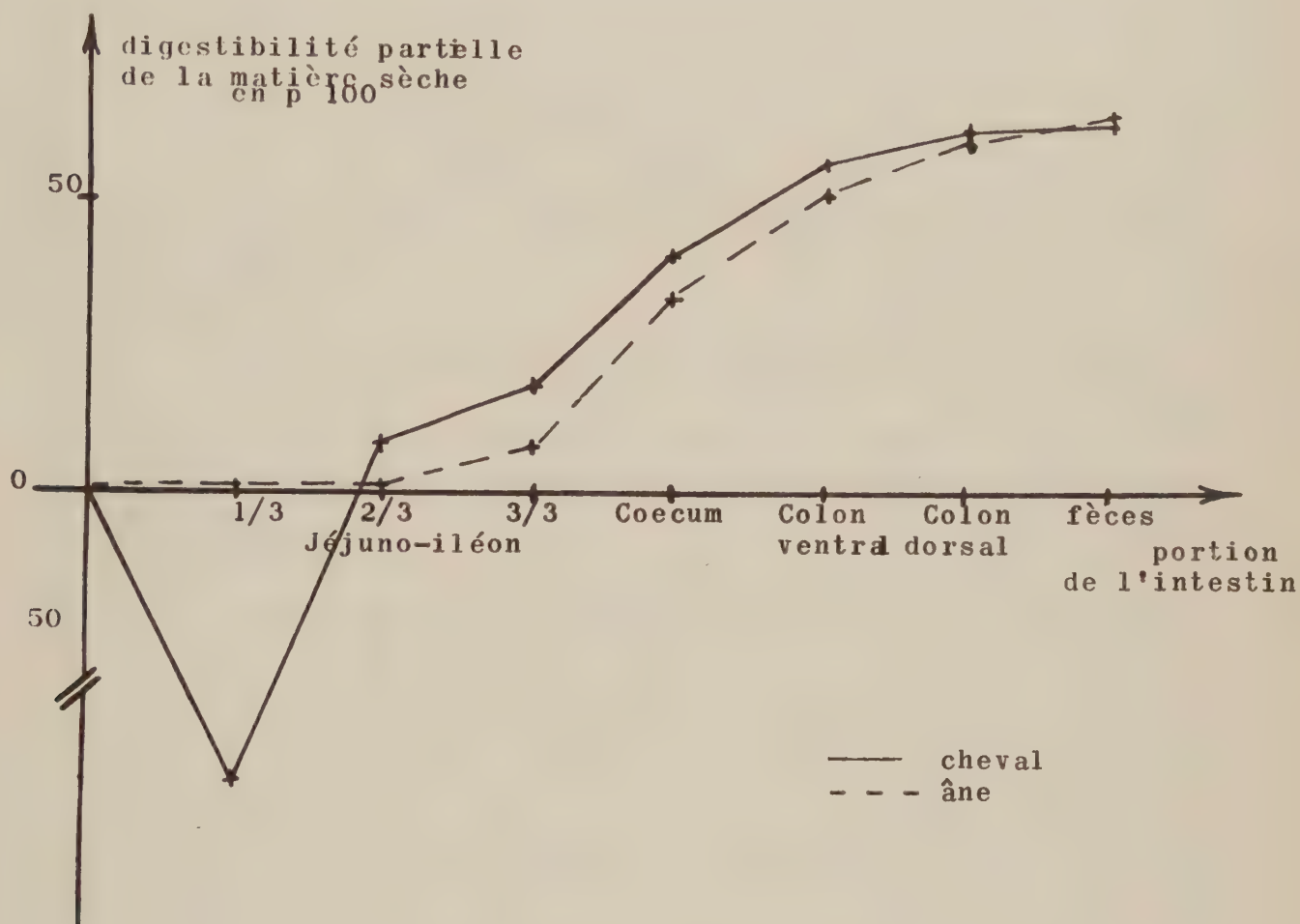
	CHEVAL	ANE		
	Farine	Farine	Granulé	Expansé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-375 $\pm$ 399	1,6 $\pm$ 35,9	-3,9 $\pm$ 33,2	-3,9 $\pm$ 9,5
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	7,7 $\pm$ 11,5	1,4 $\pm$ 52,3	18,6 $\pm$ 9	17,4 $\pm$ 1,2
Troisième tiers du jéjuno-iléon	18,1 $\pm$ 8,7	7,5 $\pm$ 56,7	25,8 $\pm$ 13	12,7 $\pm$ 7,9
Coecum	40,2 $\pm$ 8,3	33,5 $\pm$ 8,8 a	40,9 $\pm$ 3,7 b	17,1 $\pm$ 0,9 a b
Colon ventral	57 $\pm$ 6,8	52,4 $\pm$ 9,1	52,6 $\pm$ 11	45,5 $\pm$ 5
Colon dorsal	61,1 $\pm$ 6,8	59,5 $\pm$ 4	58,7 $\pm$ 3,9	55 $\pm$ 0,4
Fèces	62 $\pm$ 3,8	64,7 $\pm$ 3,6	64,2 $\pm$ 3,8	58,2 $\pm$ 0,5

Les résultats affectés d'une même lettre diffèrent significativement.

SCHEMA n° 4

Digestibilité partielle de la matière sèche avec la farine

(comparaison cheval/âne)



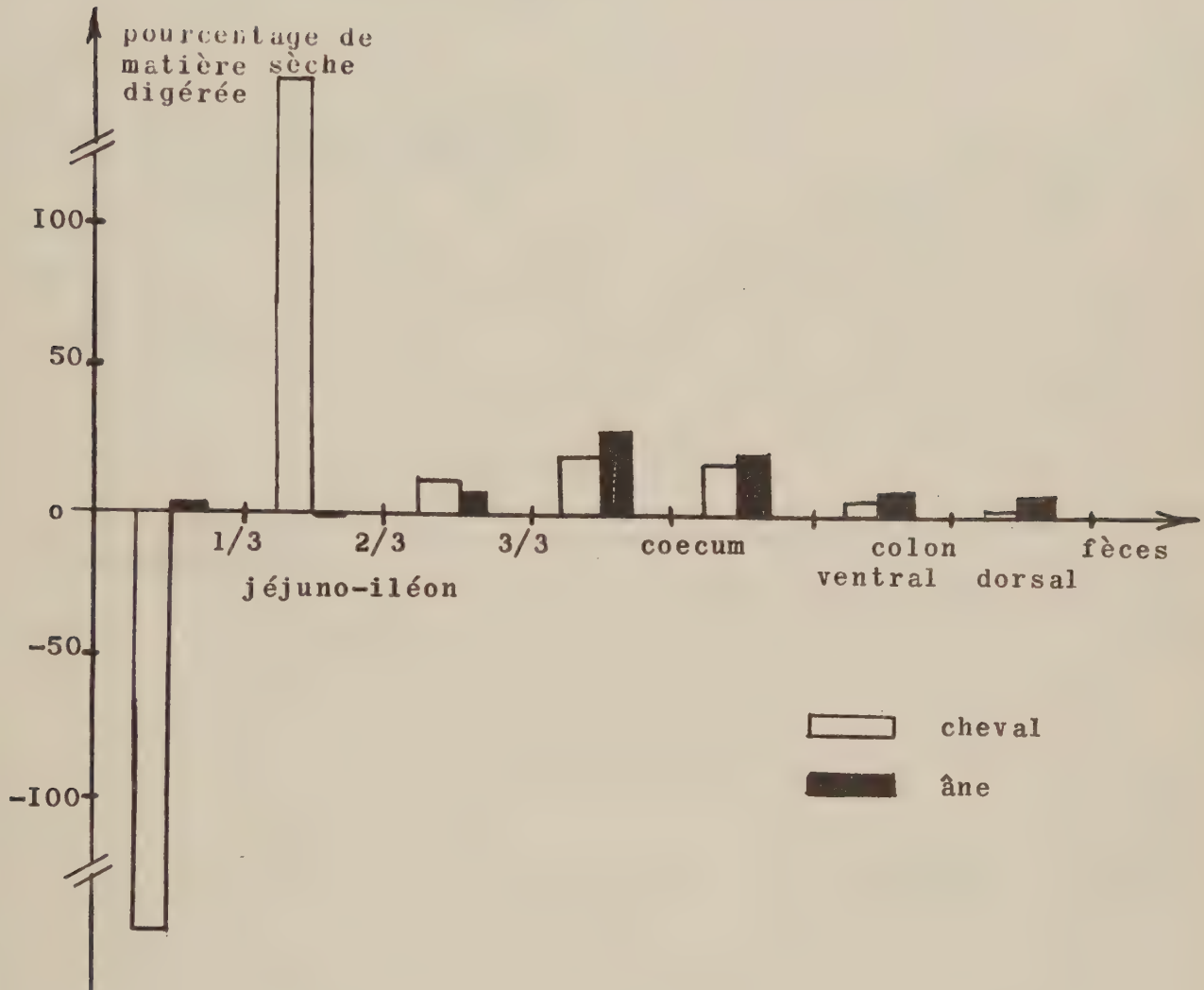
La digestibilité partielle au niveau du coecum est également surprenante. Les résultats concernant les deux animaux utilisés sont concordants et les écarts types réduits aussi bien au niveau du coecum que des fèces.

Nous retiendrons donc comme explication une faute de manipulation qui devrait alors se manifester dans les autres résultats, ou bien une digestibilité de la matière sèche réellement plus faible chez l'âne et difficilement interprétable.

TABLEAU n° 6

Pourcentages de matière sèche digérée
dans chaque portion du tube digestif

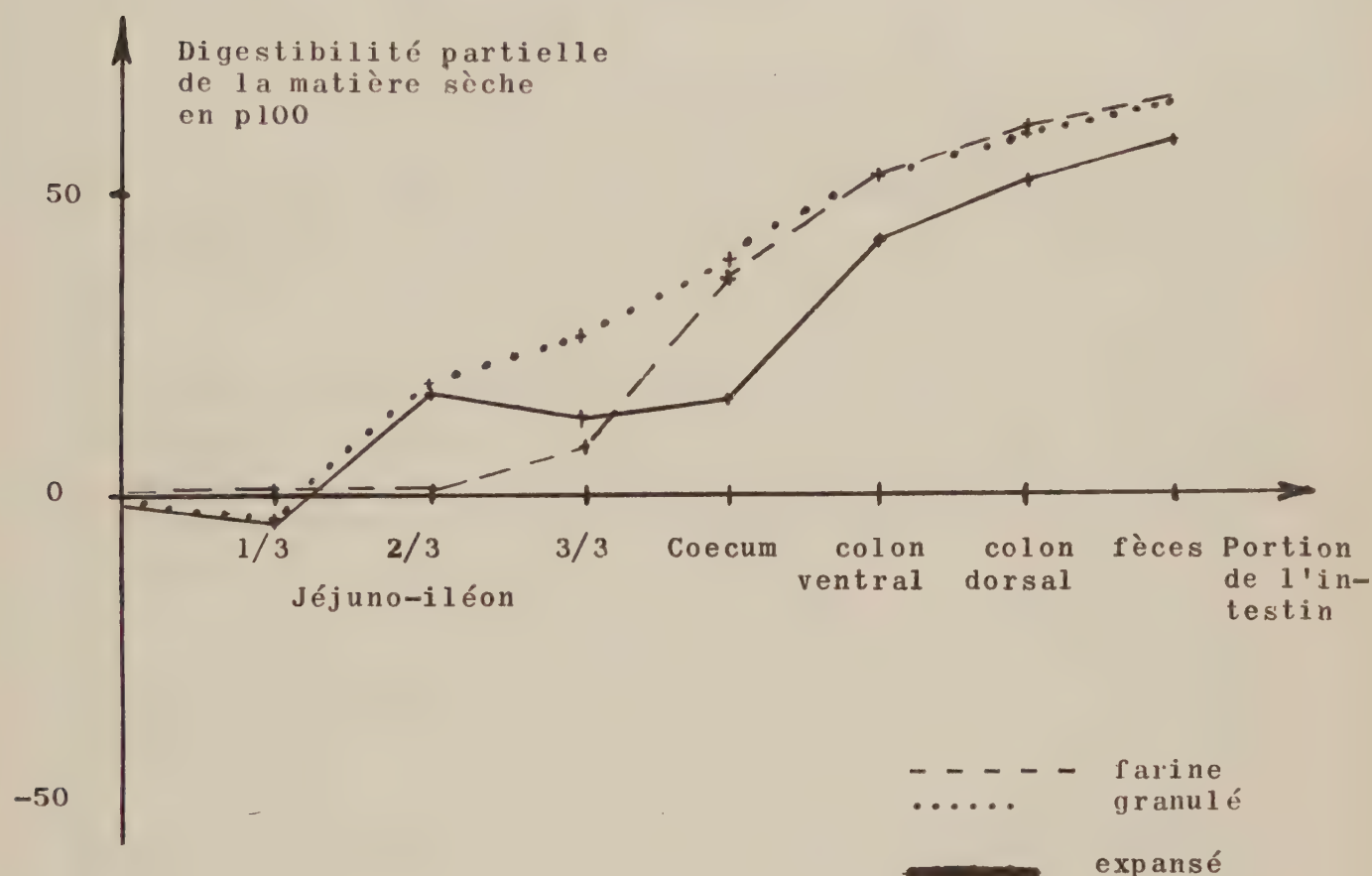
	CHEVAL	ANE		
	Farine	Farine	Granulé	Expansé
Estomac duodénum premier tiers du jéjuno-iléon	-375	1,6	-3,9	-3,9
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	382	-0,3	22,5	21,3
Troisième tiers du jéjuno-iléon	10,3	6,1	7,2	4,6
Coecum	22,2	26,1	15,1	4,3
Colon ventral	16,7	18,9	11,8	28,4
Colon dorsal	4,2	7	6	9,6
Colon flottant	0,9	5,2	5,6	3,2



En conclusion, la digestion de la matière sèche dans l'intestin grêle s'effectue de façon plus tardive et plus intense chez le cheval que chez l'âne mais elle est compensée chez ce dernier par une plus grande efficacité du gros intestin. Cette distinction physiologique coïncide avec les différences anatomiques indiquées ci-dessus. Mais la digestibilité totale reste à peu près identique.

SCHEMA n° 5

Digestibilité partielle de la matière sèche chez l'âne
(comparaison farine granulé expansé)



D - DIGESTIBILITE DE LA CELLULOSE

La digestibilité totale de la cellulose est d'environ 40 p100 (tableau n° 7). En ce qui concerne la digestibilité partielle, les chiffres semblent erronés. En effet dans l'intestin grêle, elle est toujours fortement négative et indique un excès de cellulose par rapport au chrome. Pour interpréter cela, nous sommes obligés de considérer soit une production de cellulose endogène soit une disparition du chrome. La première supposition doit être rejetée car on ne peut accepter la production de cellulose

TABLEAU n° 7

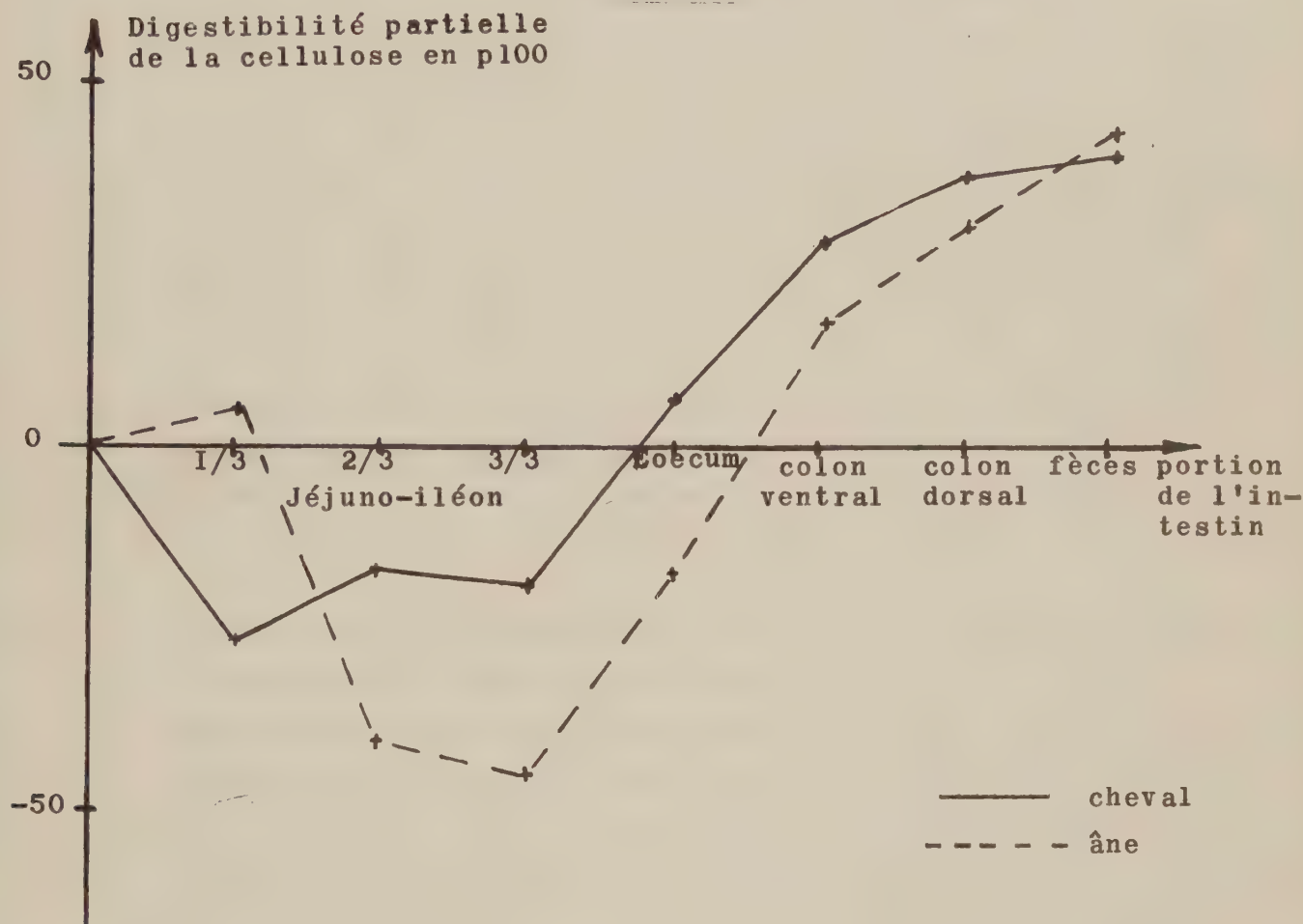
Digestibilité partielle de la Cellulose
(en p100)

	CHEVAL	ANE		
	Farine	Farine	Granulé	Expansé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-26,9 $\pm$ 92,2	5,5 $\pm$ 15,9	18,4	-20,7 $\pm$ 12,4
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-17,8 $\pm$ 40	-40,1 $\pm$ 92	-5,6 $\pm$ 32	-31,5 $\pm$ 26,8
Troisième tiers du jéjuno-iléon	-20,1 $\pm$ 22	-45,3 $\pm$ 109	-19,4 $\pm$ 21	-94,9
Coecum	7,6 $\pm$ 30	-18,7 $\pm$ 15,5	4,9 $\pm$ 12,9	-67,2 $\pm$ 7,3
Colon ventral	28,7 $\pm$ 14,7	17,5 $\pm$ 11,8 a	34,6 $\pm$ 0,1 b	-15,7 $\pm$ 6,9 a b
Colon dorsal	38,3 $\pm$ 12,8	30,3 $\pm$ 8 c	31,2 $\pm$ 7,5 d	7,7 $\pm$ 1,4 c d
Fèces	39,7 $\pm$ 11,1	43 $\pm$ 9,8 e	42,5 $\pm$ 8,7 f	14,7 $\pm$ 0,7 e f

Les résultats affectés d'une même lettre diffèrent significativement.

SCHEMA n° 6

Digestibilité partielle de la cellulose avec la farine
(comparaison cheval/âne)



par l'organisme ni par la flore gastrique, l'estomac des équidés étant réduit et le transit gastrique très rapide. Ce serait donc le chrome qui disparaîtrait. Mais celui-ci, marqueur très éprouvé, ne peut être remis en question qu'avec beaucoup de réserve, d'autant plus que la digestibilité totale est normale. Après l'absorption au début du tube digestif il serait donc réexcrété en totalité dans la partie terminale, ce qui paraît très complexe et peu probable. De plus la digestibilité

de la matière sèche et des autres éléments le long de l'intestin grêle est conforme aux résultats habituels, nous ne pouvons donc retenir la disparition du chrome au profit de la production de cellulose. La seule explication met donc en cause une dissociation de la poudre d'oxyde de chrome et de la cellulose ; ces deux éléments transiteraient dans l'intestin grêle à des vitesses différentes par suite de ségrégation dans l'estomac ou de répartition inégale dans les phases liquide et solide, de sorte que nous récolterions un excès de cellulose par rapport au chrome. ARGENZIO et coll. (1974(4)) ont montré que la vitesse de transit dans l'intestin était différente pour les phases liquide et solide et que, pour cette dernière, elle dépendait de la taille des particules, les plus petites passant avant les plus grosses. Dans le cas présent, nous soumettons l'hypothèse suivante : l'oxyde de chrome et la cellulose franchissent l'intestin grêle séparément par suite d'une mise en suspension sélective en rapport avec la nature, la taille et la densité des particules.

Au cours de nos prélèvements, nous avons également remarqué la tendance de l'oxyde de chrome à flotter sur la phase liquide. Une grande partie du marqueur circule donc avec celle-ci et la poudre d'oxyde de chrome étant très fine franchit le pylore avant les particules de cellulose plus grossières. Dans nos essais, 2 à 3 heures après le repas, la phase liquide a déjà quitté l'intestin grêle (ARGENZIO et coll.) et nous récoltons alors plutôt des particules avec un excès de cellulose. Ainsi l'oxyde de chrome en poudre ne paraît pas un bon marqueur pour l'étude du transit de la cellulose dans l'intestin grêle et il serait préférable d'utiliser des particules de cellulose colorée ou des papiers marqués à l'oxyde de chrome. Cette sélection observée avec la cellulose, nous ne pensons pas qu'elle se produise avec les autres éléments étudiés car ces derniers, plus solubles, forment des particules plus fines, proches du chrome pour ce qui est du transit. Cependant nous conservons un doute sur l'exactitude des chiffres obtenus au niveau de l'intestin grêle mais ceci a peu d'importance

TABLEAU n° 8

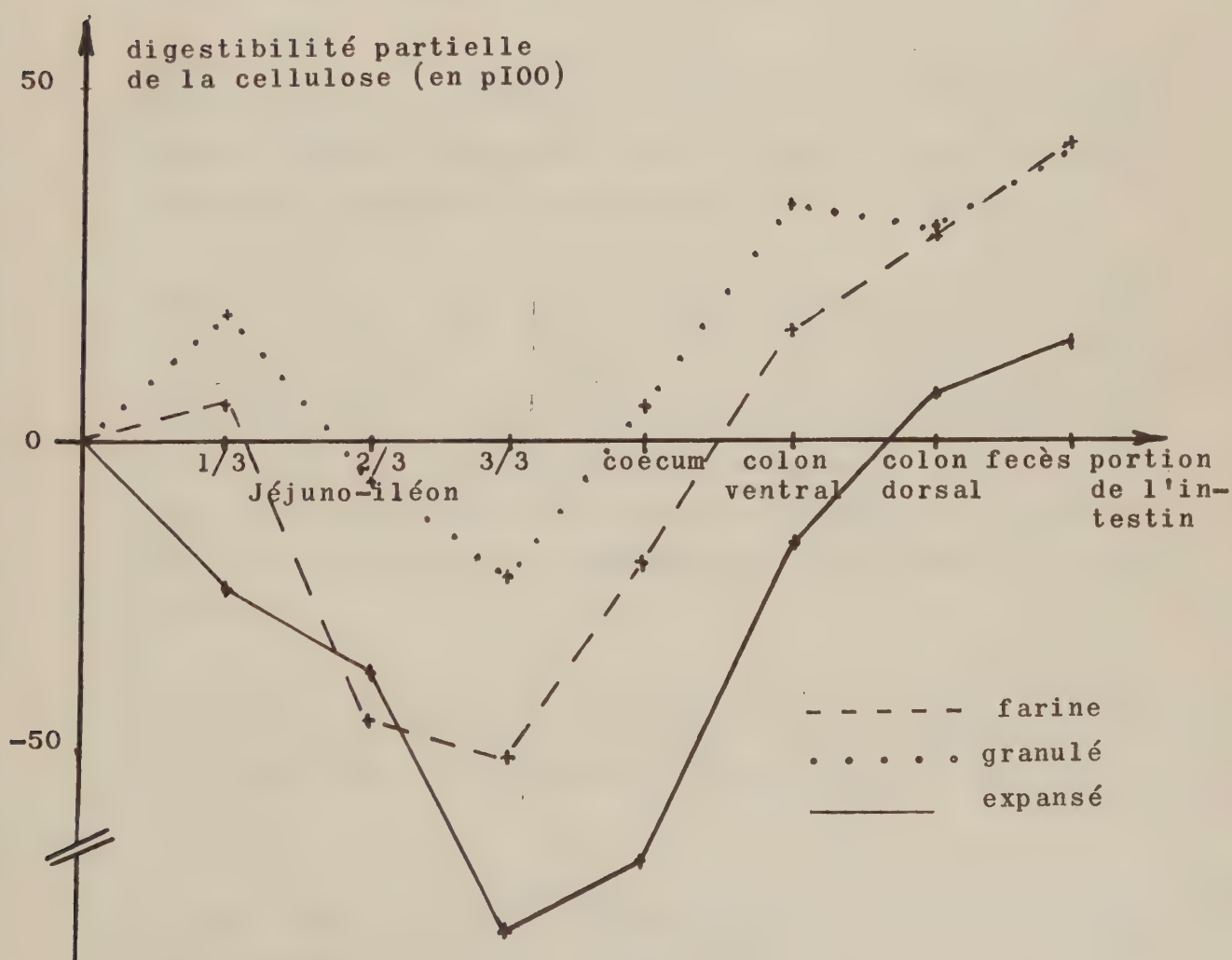
Pourcentages de cellulose dégradée
dans chaque portion du tube digestif

	CHEVAL	ANE		
	Farine	Farine	Granulé	Expansé
Estomac duodénum premier tiers du jéjuno-iléon	-26,9	5,5	18,4	-20,7
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	11,8	-45,5	-24	-10,8
Troisième tiers du jéjuno-iléon	-4,4	-5,2	-13,8	-63,6
Coecum	24,4	26,6	24,3	27,7
Colon ventral	23,7	36,1	29,7	51,4
Colon dorsal	9,7	12,8	-3,4	23,4
Colon flottant	1,4	12,8	11,3	7

dans la mesure où nous ne cherchons pas des valeurs absolues mais l'évolution générale des digesta le long du tube digestif. Dans le coecum les éléments se remélangent et à partir du gros intestin l'oxyde de chrome peut être considéré comme un bon marqueur pour tous les constituants. Cette hypothèse de décantation serait intéressante à vérifier en expérimentant de façon analogue avec deux marqueurs l'un en poudre fine l'autre sous forme de particules.

SCHEMA n° 7

Digestibilité partielle de la cellulose chez l'âne (comparaison farine - granulé - expansé)



Ces observations montrent donc que la digestibilité partielle de la cellulose dans l'intestin grêle n'est pas interprétable. Par contre au niveau du coecum elle est pratiquement nulle (schéma n° 6 et 7) ce qui prouve d'une part qu'il n'y a pas de digestion enzymatique de la cellulose dans l'intestin grêle, d'autre part qu'au moment de nos prélèvements le contenu coecal représente le résultat de la digestion dans l'intestin grêle, les fermentations étant encore limitées et le flux iléal abondant.

La cellulose est dégradée dans le gros intestin. Le tableau n°8 permet de localiser plus précisément cette activité au niveau du coecum et du colon ventral, tandis qu'elle est plus limitée dans le colon dorsal et le colon flottant.

Au sujet de l'influence de l'espèce, l'âne présente une digestibilité totale plus élevée mais de façon non significative; et pour chaque portion du gros intestin, le pourcentage de cellulose digérée est plus fort que chez le cheval.

Quant au rôle de la présentation, les tableaux n° 7 et 8 et le schéma n°7 ne font pas apparaître de différence significative entre la farine et le granulé. Par contre avec l'expansé, les digestibilités partielle et totale sont significativement ($p < 0,05$) plus faibles. Parallèlement aux résultats concernant la matière sèche, les chiffres obtenus avec l'expansé sont curieux mais nous ne pouvons mettre en cause leur homogénéité.

En retenant une digestibilité moindre de la cellulose avec l'expansé nous devons interpréter cela par une accélération du transit qui influencerait sur la digestibilité des autres constituants.

De plus chez le poney la vitesse du transit n'est pas modifiée par l'expansion (WOLTER et coll. 1975) (18). Nous pensons donc plutôt à une erreur d'expérimentation. Sur le schéma n° 7

la courbe correspondant à l'expansé est semblable aux autres mais uniformément négative, évoquant une sous-estimation du chrome ou un excès de cellulose. Si nous mettons en cause le chrome nous devons alors observer un décalage analogue avec les autres éléments de la ration. Or avec les matières azotées, l'amidon, les sucres, les cendres et le calcium cet écart ne se manifeste pas. Ainsi nous devons admettre un excès de cellulose dans l'ensemble du tube digestif sans augmentation des autres constituants. Cette erreur pourrait être due à une consommation imprévue de paille, expliquant ainsi la faible digestibilité de la matière sèche et de la cellulose. Celle des autres éléments est alors peu modifiée par suite de la pauvreté de la paille et l'erreur minime est masquée par les variations individuelles.

Nous signalerons également que ces animaux recevant l'aliment expansé, de petite taille et logés dans une écurie à part, ont été plus difficiles à entraver. Dans la suite de l'exposé les résultats relatifs à l'expansé seront donc laissés de côté.

Nous concluons que la cellulose est digérée dans le gros intestin des équidés et que l'âne semble mieux l'utiliser que le cheval sans trouver toutefois un écart aussi marqué que WOLTER et VELANDIA (1970)(16). Mais cette nuance pourrait être liée au régime. Ces auteurs ont en effet travaillé avec des fourrages alors que nous avons utilisé des aliments complets.

Nous rattacherons cette meilleure digestion de la cellulose par l'âne au plus grand développement relatif du gros intestin chez cette espèce.

E - DIGESTIBILITE DES MATIERES AZOTEES

L'azote est un élément dont la digestion est peu commode à étudier ; les digestibilités apparente et réelle diffèrent beaucoup par suite des nombreuses sécrétions peu commode à apprécier. La digestibilité totale de l'ordre de 70 p 100 ne varie pas significativement en fonction de l'espèce ou de la présentation alimentaire (tableau n° 9).

TABLEAU n° 9

Digestibilité partielle des matières azotées
(en p100)

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-1618 $\pm$ 1294	-112,9 $\pm$ 122	-208 $\pm$ 208
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-9,2 $\pm$ 34,8	11,6 $\pm$ 43,7	-30,74 $\pm$ 30,7
Troisième tiers du jéjuno-iléon	14,4 $\pm$ 34,2	31,5 $\pm$ 28,5	-5,1 $\pm$ 62,1
Coecum	40,2 $\pm$ 13,1	46,8 $\pm$ 12,7 a	24,1 $\pm$ 5,4 a
Colon ventral	61,5 $\pm$ 11,6	56,6 $\pm$ 25,1	33,9 $\pm$ 20,9
Colon dorsal	68,6 $\pm$ 10	65,7 $\pm$ 14,6	57,8 $\pm$ 9,3
Fèces	75,6 $\pm$ 5,2	73,9 $\pm$ 8,9	70,8 $\pm$ 5,3

Les résultats affectés d'une même lettre diffèrent
significativement.

Au début du jéjunum, la digestibilité partielle fortement négative met en évidence l'azote endogène apporté massivement par les sécrétions enzymatiques. Un écart type élevé caractérise les nombreuses variations individuelles. Dans la seconde portion la digestibilité apparente est toujours négative mais nous constatons sa forte progression, comme il apparaît sur les schémas n° 8 et 9. L'absorption de l'azote s'effectue donc de façon très intense dans le deuxième puis dans le troisième tiers du jéjuno-iléon et se poursuit au niveau du coecum où la digestibilité partielle est d'environ 40 p100, ce qui est légèrement inférieur aux valeurs trouvées par HINTZ et coll. (1971)(9). L'utilisation de l'azote se déroule encore dans le gros intestin pour atteindre la digestibilité totale de 70 p100.

SCHEMA n° 8

Digestibilité partielle des matières azotées avec la farine
(comparaison cheval/âne)

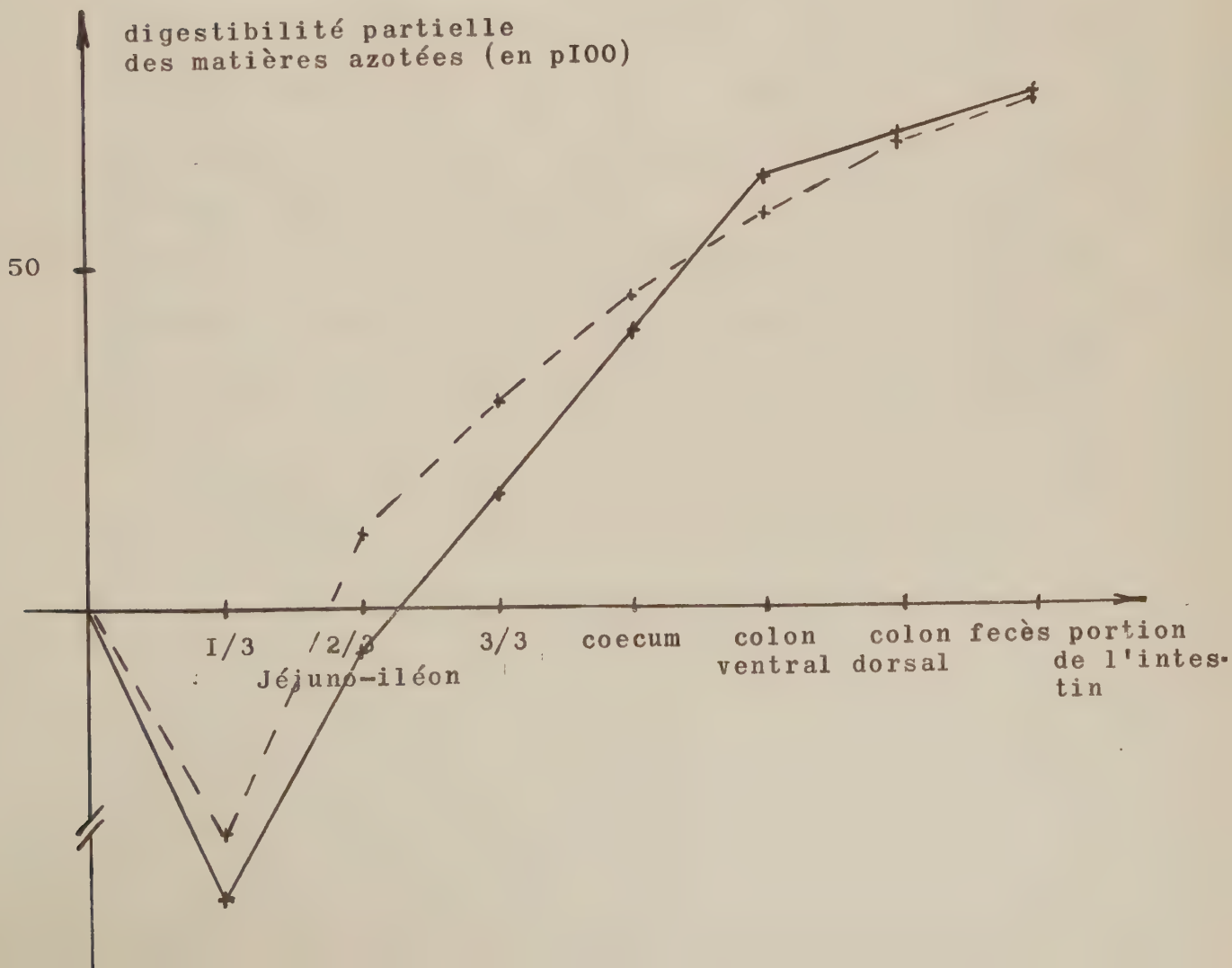


TABLEAU n° 10

Pourcentage de matières azotées digérées
dans chaque portion du tube digestif

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Estomac duodénum Premier tiers du jéjuno-iléon	-1618	-112,9	-208
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	1608	124,5	177,3
Troisième tiers du jéjuno-iléon	23,7	19,9	25,6
Coecum	25,7	15,3	29,2
Colon ventral	21,3	9,9	9,8
Colon dorsal	7,11	9	23,9
Colon flottant	7	8,3	13

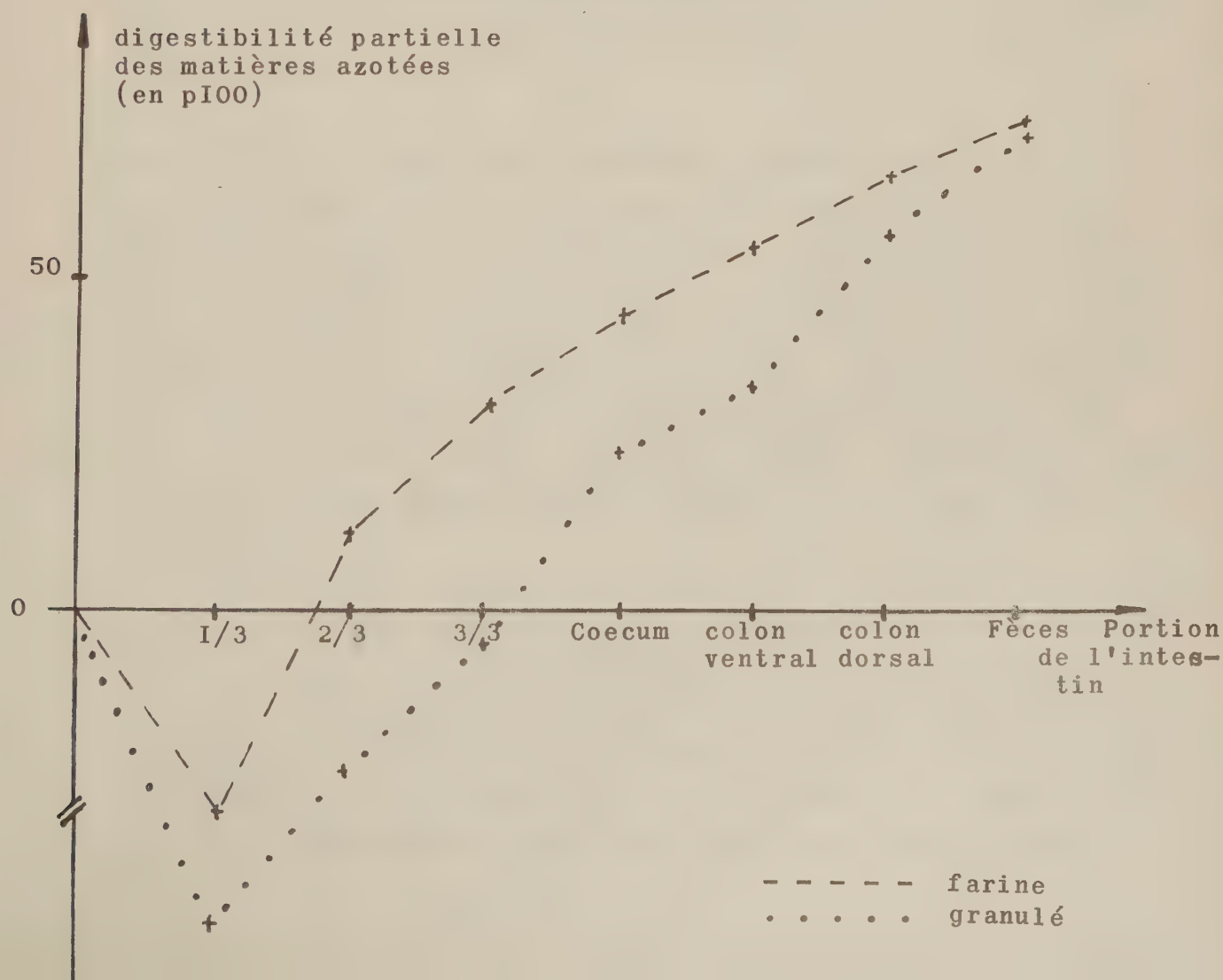
En considérant que le contenu du coecum représente approximativement le produit de la digestion dans l'intestin grêle, cette évolution met en valeur le parti tiré des matières azotées en région précoecale. Les équidés se comportent donc essentiellement comme des monogastriques vis-à-vis des protéines alimentaires et doivent ressentir l'influence de leur qualité.

REITNOUR et TREECE (1971)(12) ont montré à ce propos la meilleure utilisation digestive et métabolique des protéines nobles telles celles de soja et de poisson. Une fraction azotée est également absorbée dans le gros intestin sans que nous puissions en préciser les modalités. Ayant dosé l'azote total nous ne pouvons faire la distinction azote protéique et non protéique ni entre protéines alimentaires et bactériennes.

SCHEMA n° 9

Digestibilité partielle des matières azotées chez l'âne

(comparaison farine/granulé)



Au sujet de l'influence de l'espèce, nous n'observons pas avec la farine de différence significative entre le cheval et l'âne (schéma n°8).

Mais nous constatons chez l'âne des variations en fonction de la présentation alimentaire. En effet, bien que la digestibilité totale soit comparable, la digestibilité partielle au niveau du coecum manifeste des écarts significatifs ($p < 0,05$). Avec la farine, elle atteint 40 p100 alors qu'elle n'est que de 20 p100 avec le granulé. Nous pouvons interpréter ceci par une modification des matières azotées résultant du traitement thermique de l'aliment qui diminuerait l'efficacité de l'activité enzymatique (réaction de MAILLARD) ou moins vraisemblablement par une augmentation de l'azote endogène ou bien encore par une accélération du transit. La considération des autres éléments de la ration ne permet pas de penser à une modification de la vitesse de ce dernier. Cette mauvaise utilisation de l'azote dans l'intestin grêle avec l'aliment granulé est compensée par une évolution différente dans le gros intestin de sorte que la digestibilité totale est identique (schéma n°9).

Chez l'âne le comportement digestif vis-à-vis des matières azotées dépend donc de la présentation alimentaire. Avec la farine, cet animal se conduit essentiellement comme un monogastrique tandis qu'avec le granulé la digestion dans le gros intestin ressemble plutôt à celle des ruminants. Cependant nous restons prudent car l'expérimentation nous montre la disparition de l'azote dans le gros intestin mais ne nous indique pas les modalités de son utilisation. Est-il absorbé sous forme d'acides aminés alimentaires ou bactériens ou encore d'azote non protéique ?

Quant à l'expansion, on pourrait craindre à priori qu'elle diminue la digestibilité des matières azotées. Pourtant chez le porc des résultats contraires ont été observés. BORGIDA (1975) (6) pense en effet que le traitement hydrothermique des céréales est favorable et que cela tient non seulement à la gélatinisation de l'amidon mais aussi à une meilleure digestibilité

de l'azote et à la diminution de la fraction endogène fécale et urinaire. La vérification du rôle de l'expansion sur la digestion de l'azote chez les équidés s'impose donc et il est dommage que nos chiffres ne soient pas interprétables.

En conclusion, le cheval et l'âne digèrent les matières azotées de la farine surtout dans l'intestin grêle, tandis que celles du granulé semblent plutôt absorbées dans le gros intestin chez l'âne. Mais nous n'extrapolerons pas au cheval puisqu'il dispose d'une digestion précoecale plus efficace. Il serait donc particulièrement intéressant d'étudier l'influence de la présentation de l'aliment sur la digestion des matières azotées chez cette espèce.

F - DIGESTIBILITE DE L'EXTRAIT ETHERE

Ce constituant de la ration est généralement peu étudié car, d'une part il représente une faible proportion de la matière sèche alimentaire (3 à 4 p100 dans le cas présent), d'autre part il s'agit d'un mélange complexe regroupant, outre les matières grasses, des éléments liposolubles divers tels que des pigments.

La digestibilité totale est d'environ 50 à 60 p100 (tableau n°11). Dans la première partie de l'intestin grêle, la digestibilité partielle met en évidence que les sécrétions comportent une quantité importante de substances solubles dans l'éther ; nous pensons à des lipides mais aussi aux pigments biliaires. Puis, ces produits étant aisément dégradés ou absorbés elle augmente rapidement. Nous remarquons par ailleurs une légère diminution dans le gros intestin que nous attribuons à la production de lipides et pigments par la flore intestinale. L'étude de l'extrait éthéré fécal permettrait de les identifier et de démontrer leur origine bactérienne.

TABLEAU n° 11

Digestibilité partielle de l'extrait étheré
(en p100)

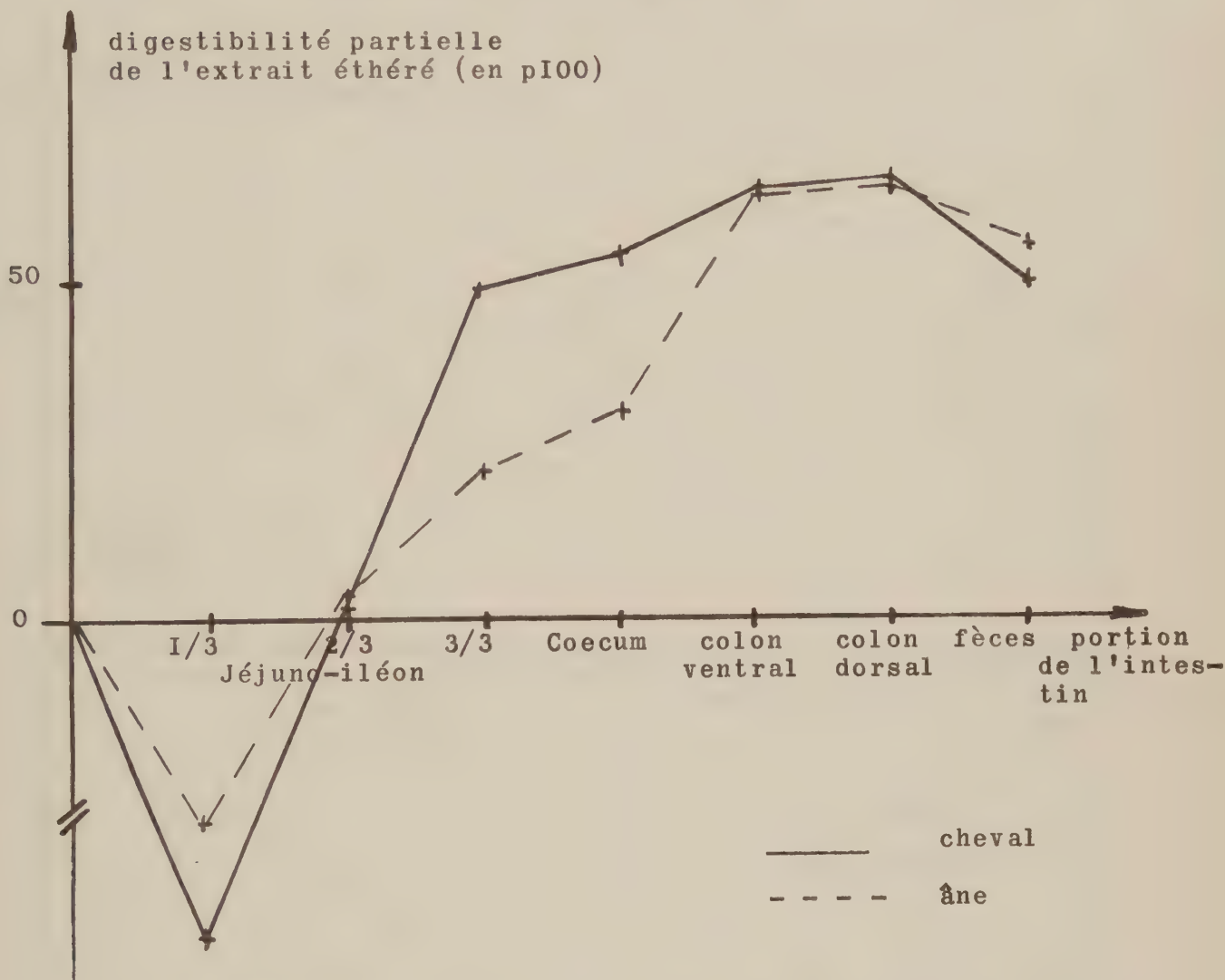
	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-1146±1000	-87,4±137	-73,6±125
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	2±24,8	4,4±52,9	37,1±1,6
Troisième tiers du jéjuno-iléon	47,2±7,2	21,3±43,7	50,3±21,4
Coecum	53,1±9,6	30±11	46,6±4,8
Colon ventral	64,6±9	64,2±7,8	65,6±14,5
Colon dorsal	63±9,7	61,3±16,5	59,5±9,9
Fèces	47,3±9,9	54,1±16,3	62,3±3,8

Pour ce qui est de l'influence de l'espèce, la digestibilité totale est identique mais chez le cheval les digestibilités partielles au niveau de l'intestin grêle et du coecum sont plus élevées et confirment ainsi la supériorité de la digestion pré-coecale chez cette espèce. (schéma n° 10)

Par ailleurs, la granulation faciliterait la digestion enzymatique de l'extrait étheré. (schéma n° 11)

SCHEMA n° 10

Digestibilité partielle de l'extrait étheré avec la farine
(comparaison cheval/âne)

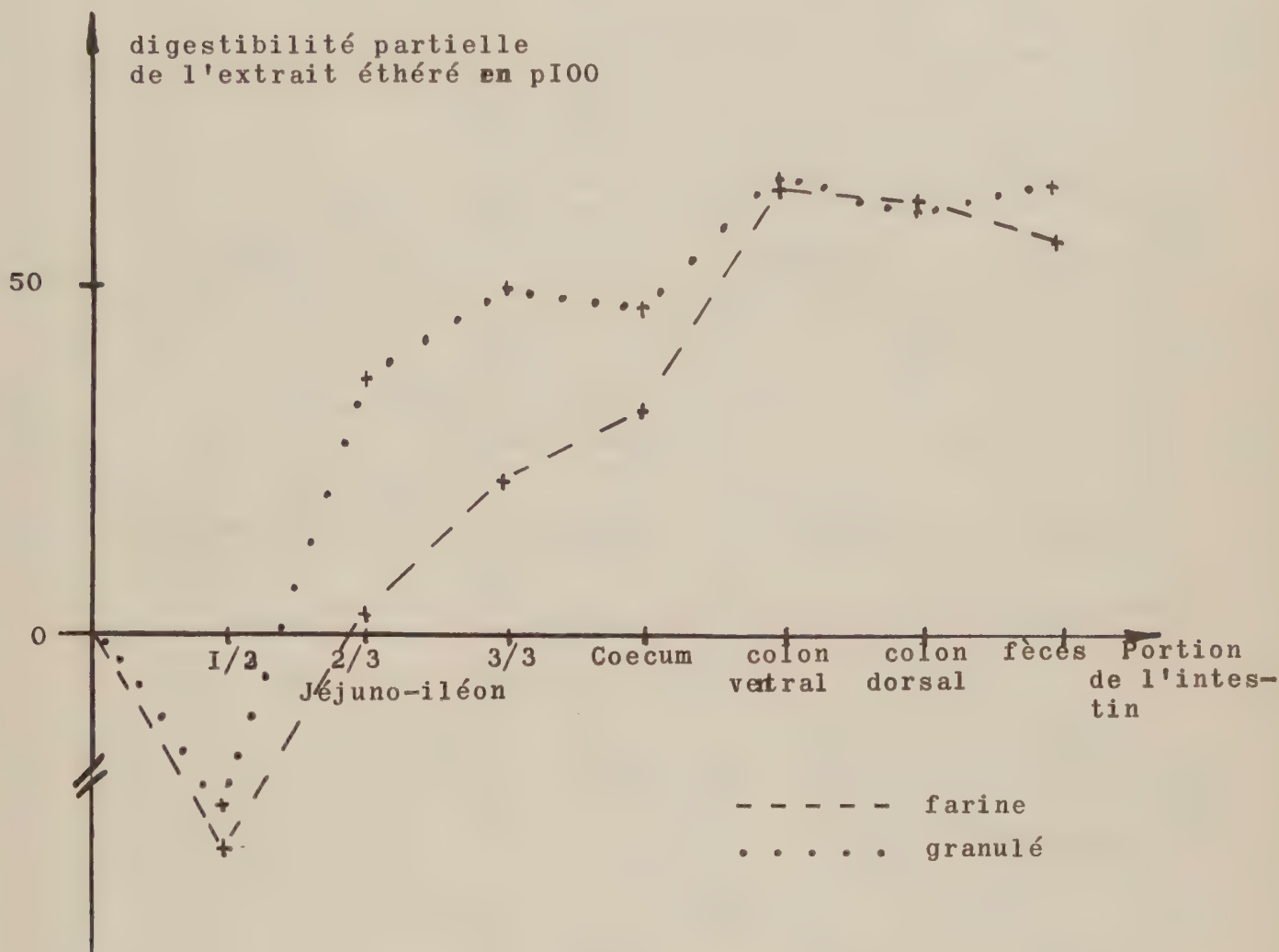


Les matières grasses sont donc digérées en grande partie dans l'intestin grêle; les équidés se comportent comme des monogastriques vis-à-vis d'elles, de sorte que la nature des lipides alimentaires peut influencer celle des graisses de réserve.

Nous noterons également que la digestion enzymatique est plus élevée chez le cheval que chez l'âne et que chez ce dernier la granulation a un effet favorable. Mais dans tous les cas la digestibilité finale est la même.

SCHEMA n° 11

Digestibilité partielle de l'extrait étheré chez l'âne
 (comparaison farine/granulé)

G - DIGESTIBILITE DE L'AMIDON

L'amidon est un élément de la ration très bien utilisé par les équidés. Sa digestibilité totale est à peu près constante et de l'ordre de 97 à 98 p100. Mais il nous faut préciser, à l'aide des résultats rassemblés dans le tableau n° 12, comment il est valorisé. Auparavant nous rappellerons que nous pouvons assimiler la digestibilité réelle de l'amidon à la digestibilité apparente, la dégradation intervenant seule, ce qui permet de mieux préciser le mécanisme de la digestion. Celle-ci est très précoce puisque dès le premiers tiers du jéjuno-iléon la digestibilité partielle avoisine 90 p100 chez l'âne et 85 p100 chez le cheval.

TABLEAU n° 12

Digestibilité partielle de l'amidon
(en p100)

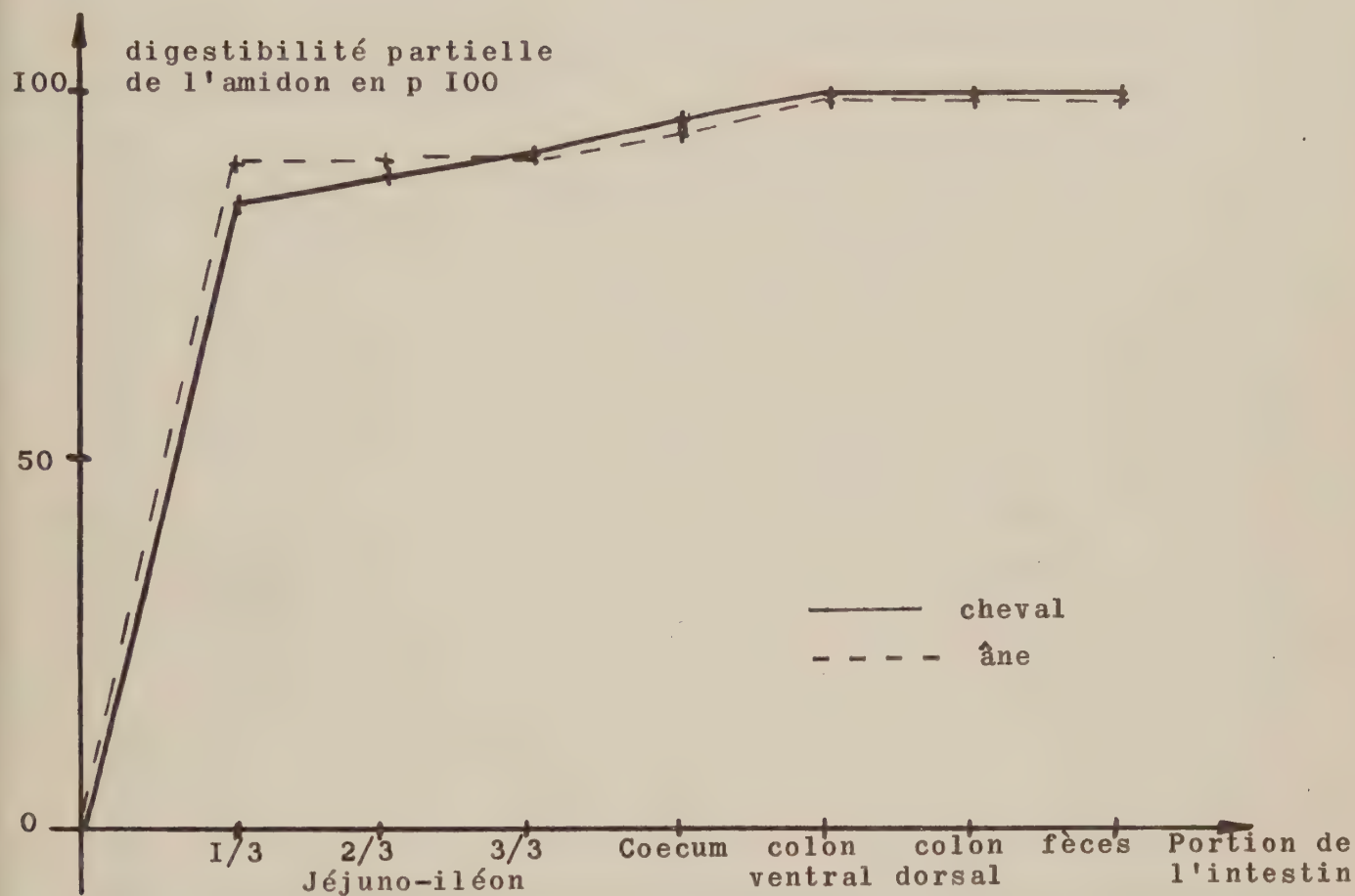
	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	85,7 $\pm$ 4,1	90,9 $\pm$ 5,5	92 $\pm$ 2,2
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	88,8 $\pm$ 4,4	90,1 $\pm$ 6,6	91,4 $\pm$ 5,6
Troisième tiers du jéjuno-iléon	91,4 $\pm$ 1,9	91,3 $\pm$ 5,3	93,6 $\pm$ 1
Coecum	95,4 $\pm$ 1,2	93,2 $\pm$ 1,2 a	97 $\pm$ 0,4 a
Colon ventral	97 $\pm$ 1	97,4 $\pm$ 0,7	97,7 $\pm$ 0,6
Colon dorsal	97,2 $\pm$ 0,8	97,1 $\pm$ 0,9	98,2 $\pm$ 0,2
Fèces	97,7 $\pm$ 0,5	97,6 $\pm$ 0,7	98,5 $\pm$ 0,2

Les résultats affectés d'une même lettre diffèrent significativement.

Ceci prouve que l'amidon est dégradé dans une portion très antérieure du tube digestif : l'estomac ou le duodenum. Le lieu exact est important à préciser car une digestion gastrique en l'absence d'amylase et en présence de streptocoques serait de type fermentaire aboutissant à l'acide lactique,

SCHEMA n° 12

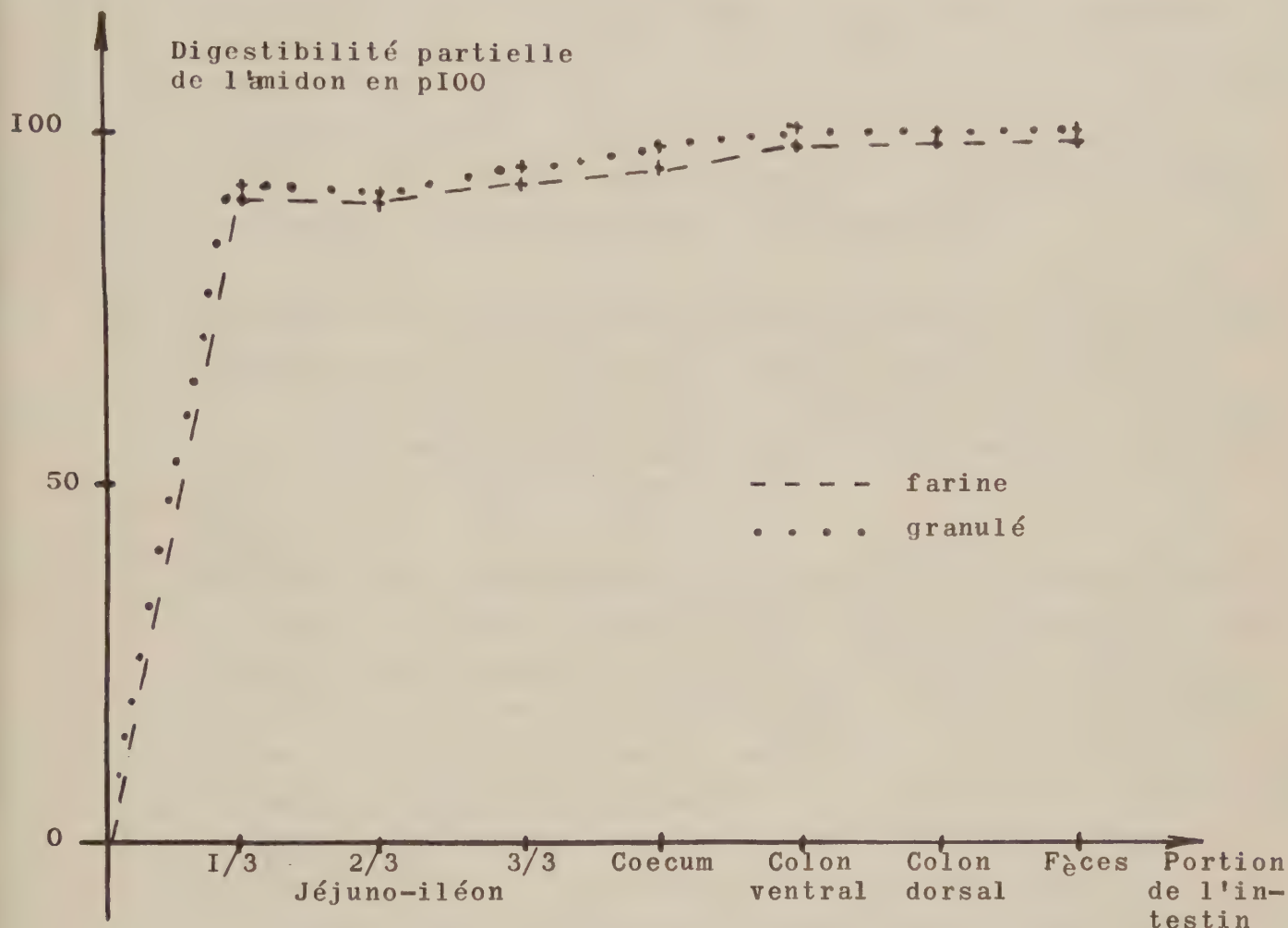
Digestibilité partielle de l'amidon avec la farine
(comparaison cheval/âne)



tandis qu'une dégradation duodénale serait de type enzymatique libérant du glucose. Cette distinction est fondamentale sur le plan énergétique car une molécule de glucose en donne deux d'acide lactique par la chaîne d'EMBDEN MEYERHOFF avec production de deux ATP. Il est donc préférable sur le plan métabolique que la muqueuse digestive absorbe une molécule de glucose plutôt qu'une d'acide lactique. Lors de fermentations, une perte d'énergie s'effectue sous forme de chaleur dans le tube digestif ; il faut donc préciser leur importance dans l'estomac. Notre expérimentation ne permet pas de les mettre en évidence ni d'apprécier leur ampleur car il faudrait doser l'acide lactique

SCHEMA n° 13

Digestibilité partielle de l'amidon chez l'âne
(comparaison farine/granulé)



dans l'estomac comme l'ont réalisé ARGENZIO et coll. (1974)(5). Ces auteurs ont montré que le pH de l'estomac était minimum 4 à 8 heures après le repas tandis que la teneur en acide lactique était maximum dans le même temps. Les fermentations gastriques sont ainsi assez tardives, or nos prélèvements ont été réalisés 2 à 3 heures après le repas. Nous pensons donc que, pour nos échantillons, le transit très rapide dans l'estomac n'a pas permis le développement des fermentations et nous considérons que la digestion presque totale de l'amidon a été de type enzymatique dans le duodénum. Cependant nous prenons

en considération la possibilité de fermentations lactiques sur la fraction séjournant longtemps dans l'estomac et qui pour être mise en évidence nécessiterait des prélèvements tardifs et le dosage de l'acide lactique. Cette digestion duodénale enzymatique sera confirmée ultérieurement par l'étude de la digestibilité des sucres. En effet la teneur en glucose devrait augmenter, faisant apparaître une digestibilité négative. Toutefois celle-ci ne pourra se manifester que si la formation du glucose est plus rapide que son absorption.

La digestion dans l'intestin grêle ne laisse parvenir au coecum qu'une proportion très faible d'amidon qui est dégradé dans le gros intestin. A ce niveau les conditions de pH éliminent une action enzymatique, tandis que la flore abondante produit rapidement des acides gras volatils.

En outre nous constatons que la digestibilité partielle dans le colon replié est à peu près égale à la digestibilité totale donc les fermentations se dérouleraient essentiellement dans le coecum. A ce propos, HINTZ et coll. (1971)(10) ont prouvé qu'une ration riche en amidon augmente la concentration coecale en acide propionique sans modifier la teneur et les pourcentages d'acides gras volatils dans le colon. La fraction d'amidon non dégradée dans le duodénum est donc digérée dans le coecum par fermentation et libère des acides gras volatils absorbés par la muqueuse coecale (ARGENZIO et coll. 1974 (5).

En conclusion chez les équidés 90 à 95 p100 de l'amidon sont digérés dans l'intestin grêle par voie enzymatique et 5 à 6 p100 sont fermentés dans le coecum.

Cette digestion très rapide, alors même que le transit s'effectue à une grande vitesse, est étonnante, surtout lorsque l'on songe aux méthodes physicochimiques puissantes utilisées pour l'hydrolyse au laboratoire ; cela prouve la remarquable

efficacité des systèmes enzymatiques des équidés vis-à-vis de l'amidon.

Nous soulignerons également la dualité de la digestion glucidique chez ces animaux. D'une part, comme chez les monogastriques vrais, l'amidon donne du glucose qui passe rapidement et massivement dans l'organisme et implique des mécanismes régulateurs ; à cet égard ARGENZIO et HINTZ (1970) (1) ont montré la grande tolérance des équidés au glucose grâce à la régulation pancréatique. D'autre part, ainsi que chez les ruminants, la présence d'amidon oriente les fermentations coecales vers la production d'acide propionique. L'apport énergétique est donc double, en produisant du glucose dans le duodénum et en favorisant les fermentations propioniques au niveau du coecum. Le comportement digestif ainsi que le métabolisme énergétique des équidés dépendent donc du régime utilisé et de sa richesse en amidon. En présence de grains, le glucose est le combustible de choix tandis que les fourrages conduisent aux acides gras volatils (ARGENZIO et HINTZ, 1972) (3).

1 - Influence de l'espèce

Comme pour la matière sèche, la digestion de l'amidon est plus précoce chez l'âne mais se poursuit moins longtemps (schéma 12). Au niveau du coecum, qui pour nous est le reflet de la digestion dans l'intestin grêle, la digestibilité partielle est très légèrement plus faible chez l'âne. En outre chez cette dernière espèce il y a très peu de différence entre le début du jéjunum et le coecum, donc la digestion se déroule presque entièrement dans le duodénum puis elle est inhibée, alors qu'elle se poursuit chez le cheval. Chez le poney, ARGENZIO et coll. (1974) (5) ont observé que le pH augmentait de 6 dans le duodénum à 7,3 dans l'iléon. L'hydrolyse de l'amidon nécessitant un milieu acide, nous pouvons penser que c'est l'alcalinisation qui arrête la dégradation enzymatique ; dès lors une élévation plus précoce du pH chez l'âne est à supposer.

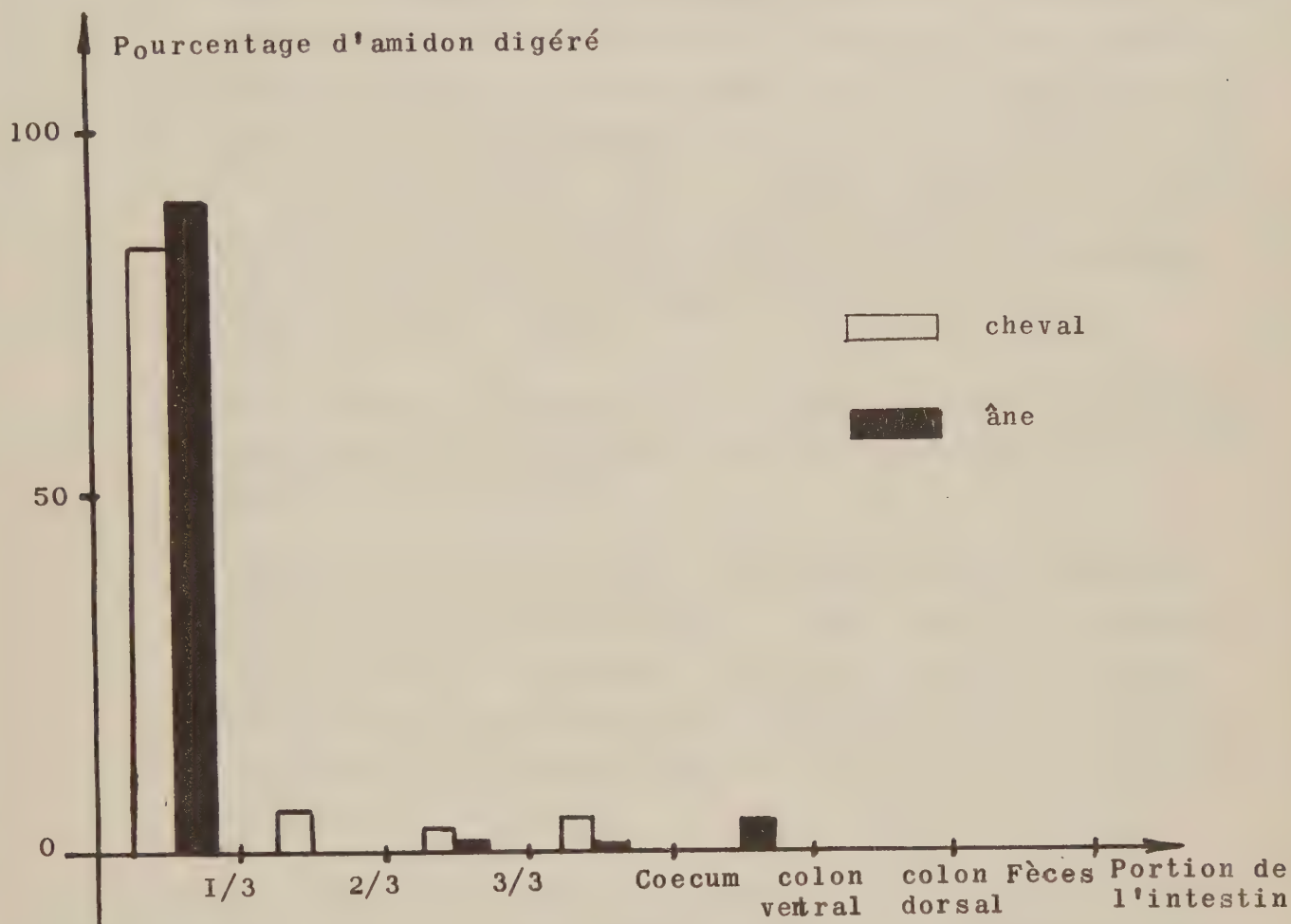
TABLEAU n° 13

Pourcentage d'amidon digéré
dans chaque portion du tube digestif

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Estomac duodénum Premier tiers du jéjuno-iléon	85,7	90,9	92
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	5,7	-0,8	-0,6
Troisième tiers du jéjuno-iléon	2,6	1,2	2,2
Coecum	4	1,9	3,3
Colon ventral	0,2	4,2	0,8
Colon dorsal	0,3	-0,3	0,5
Colon flottant	0,5	0,5	0,2

DIAGRAMME n° 3

Pourcentage d'amidon digéré
dans chaque portion du tube digestif avec la farine
(comparaison cheval/âne)



Il serait donc intéressant de comparer l'évolution du pH dans l'intestin grêle chez ces deux espèces.

2 - Influence de la présentation alimentaire

L'écart type est plus important avec la farine qu'avec le granulé (tableau n°12). Ce dernier atténuerait donc les variations individuelles. La digestibilité totale ne révèle pas de différence entre les deux formes ; par contre

au niveau du coecum la digestibilité partielle est significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée avec le granulé. L'amidon est donc utilisé en plus grande quantité dans l'intestin grêle et comme nous l'avons expliqué, libère plus de glucose et fournit plus d'énergie. Cependant l'augmentation de la digestibilité ne porte que sur quelques points qui sont en partie comblés par la production plus importante d'acides gras volatils dans le coecum. Le bénéfice énergétique lié à la granulation reste donc assez limité. La libération plus forte d'acides gras volatils pourrait expliquer l'humidité plus élevée du contenu du gros intestin, observée avec la farine.

A ce propos on signale chez l'homme des états diarrhéiques résultant d'une production excessive d'acides gras volatils dans le gros intestin.

Nous mentionnerons qu'avec l'expansé les digestibilités sont analogues à celles de la farine. Mais la consommation de paille ayant introduit une erreur par défaut on peut penser que l'expansion permet de gagner quelques points, ceci ayant été démontré sur le poney par WOLTER et coll. (1975 (18)).

En conclusion l'amidon est digéré en très grande proportion dans l'intestin grêle si bien qu'un changement de présentation alimentaire ne peut assurer qu'un gain d'énergie modeste.

H - DIGESTIBILITE DES SUCRES

La digestibilité totale des sucres est de 97 - 98 p100 (tableau n° 14) mais la faible teneur dans l'aliment (0,3 p100 de la matière sèche) n'assure qu'un apport énergétique mineur. Glucides simples, ils peuvent provenir de l'hydrolyse d'aliments plus complexes.

TABLEAU n° 14

Digestibilité partielle des sucres

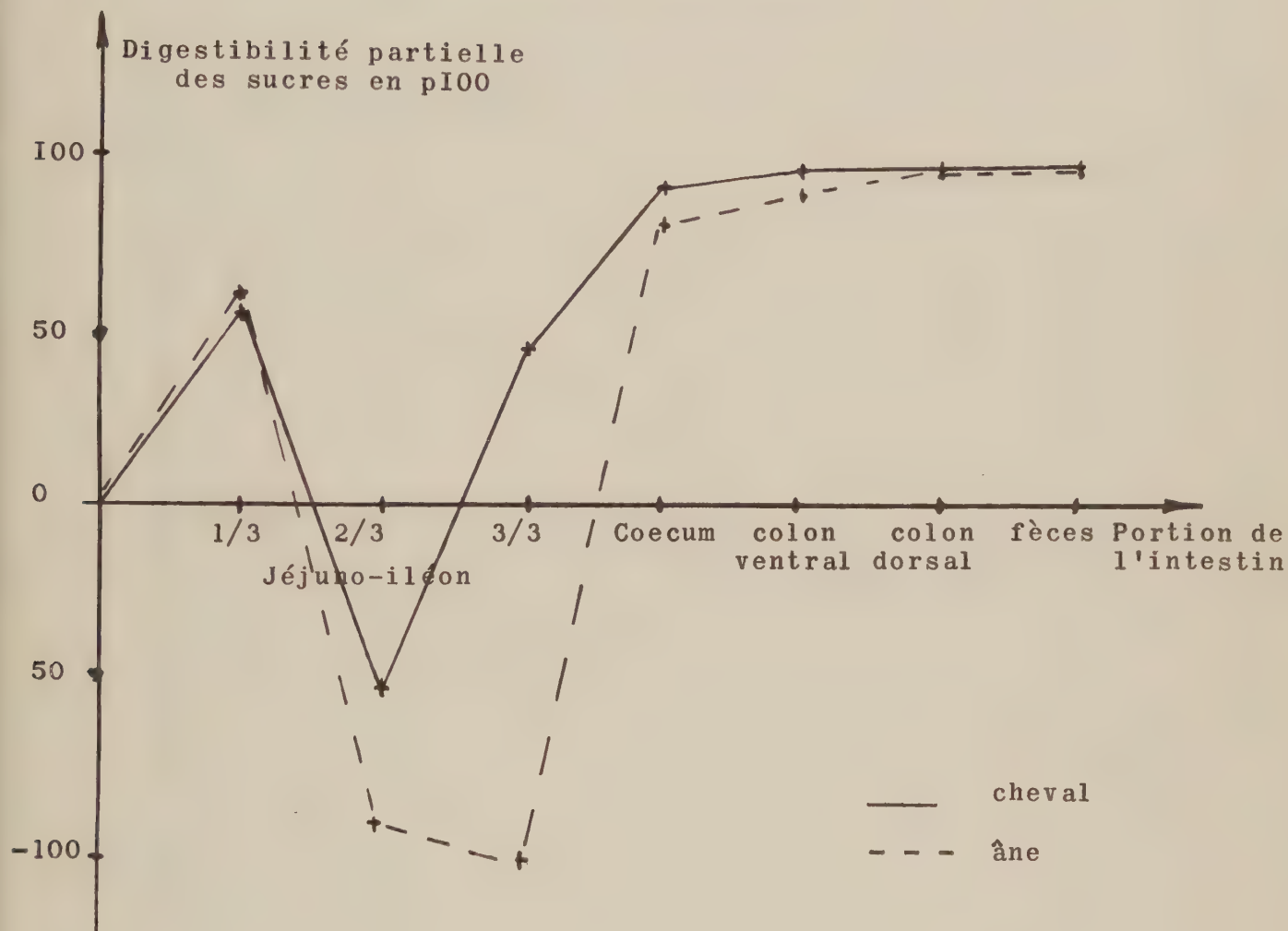
(en p100)

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	55,9 $\pm$ 28,7	65,5 $\pm$ 7,1	-70,6 $\pm$ 223
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-53 $\pm$ 250	-82,5 $\pm$ 170	-37,3 $\pm$ 183
Troisième tiers du jéjuno-iléon	47,7 $\pm$ 45,3	-103,7 $\pm$ 249	43,3 $\pm$ 70
Coecum	92,4 $\pm$ 5,8	80,9 $\pm$ 10,4	93,4 $\pm$ 1,4
Colon ventral	97,7 $\pm$ 1,4	91,3 $\pm$ 9,2	92,7 $\pm$ 6
Colon dorsal	98,8 $\pm$ 1,2	97 $\pm$ 1,2	95,4 $\pm$ 1,1
Fèces	97,2 $\pm$ 0,7	97,7 $\pm$ 0,4	97 $\pm$ 0,9

SCHEMA n° 14

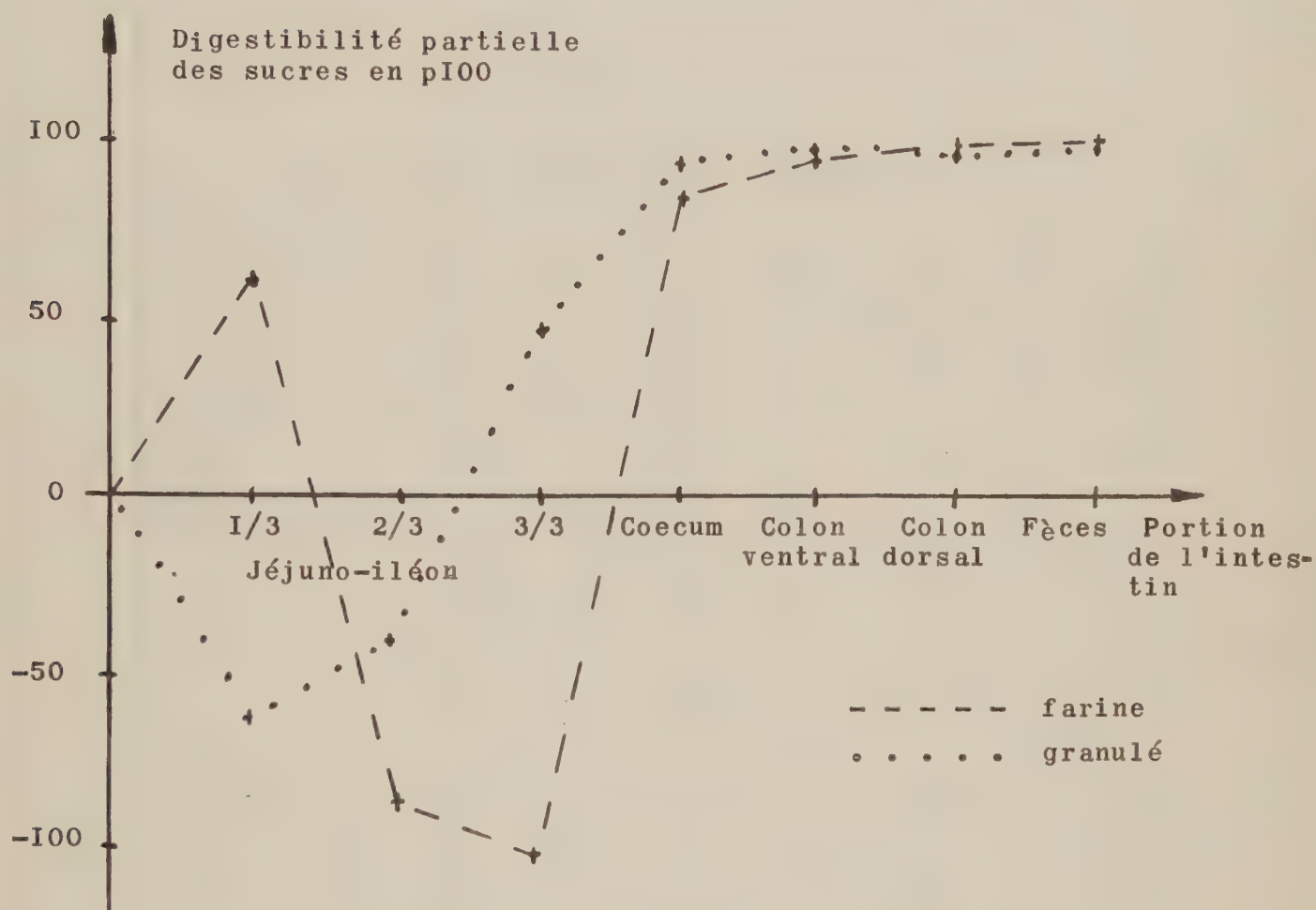
Digestibilité partielle des sucres avec la farine

(comparaison cheval/âne)



La digestibilité partielle est très variable avec des écarts types importants soulignant la complexité du problème. En effet la digestibilité apparente des sucres résulte non seulement de leur absorption mais aussi de leur libération par l'hydrolyse de l'amidon, 90 à 95 p100 de celui-ci subissant une digestion enzymatique. Dans la première portion du jéjuno-iléon, la digestibilité partielle assez élevée montre l'absorption précoce des sucres, puis dans la suivante elle est beaucoup plus faible et souvent négative comme il apparaît sur le schéma n°14. Ces sucres libérés de façon massive ne peuvent provenir

SCHEMA n° 15

Digestibilité partielle des sucres chez l'âne(comparaison farine/granulé)

des sécrétions puisque celles-ci sont surtout de nature protéique. Par contre ce flux est bien en accord avec la disparition de l'amidon. Cependant la démonstration absolue nécessiterait l'usage d'élément marqué. De plus les deux observations ne sont pas absolument synchrones. En effet l'amidon a déjà disparu dans la première portion tandis que les sucres n'apparaissent que dans la seconde partie (schéma n° 12 et 14). Une forme intermédiaire non hydrolysée par l'amyloglucosidase et non colorée par l'orthotoluidine, spécifique du glucose, semblerait exister.

TABLEAU n° 15

Pourcentage de sucres absorbés
dans chaque portion du tube digestif

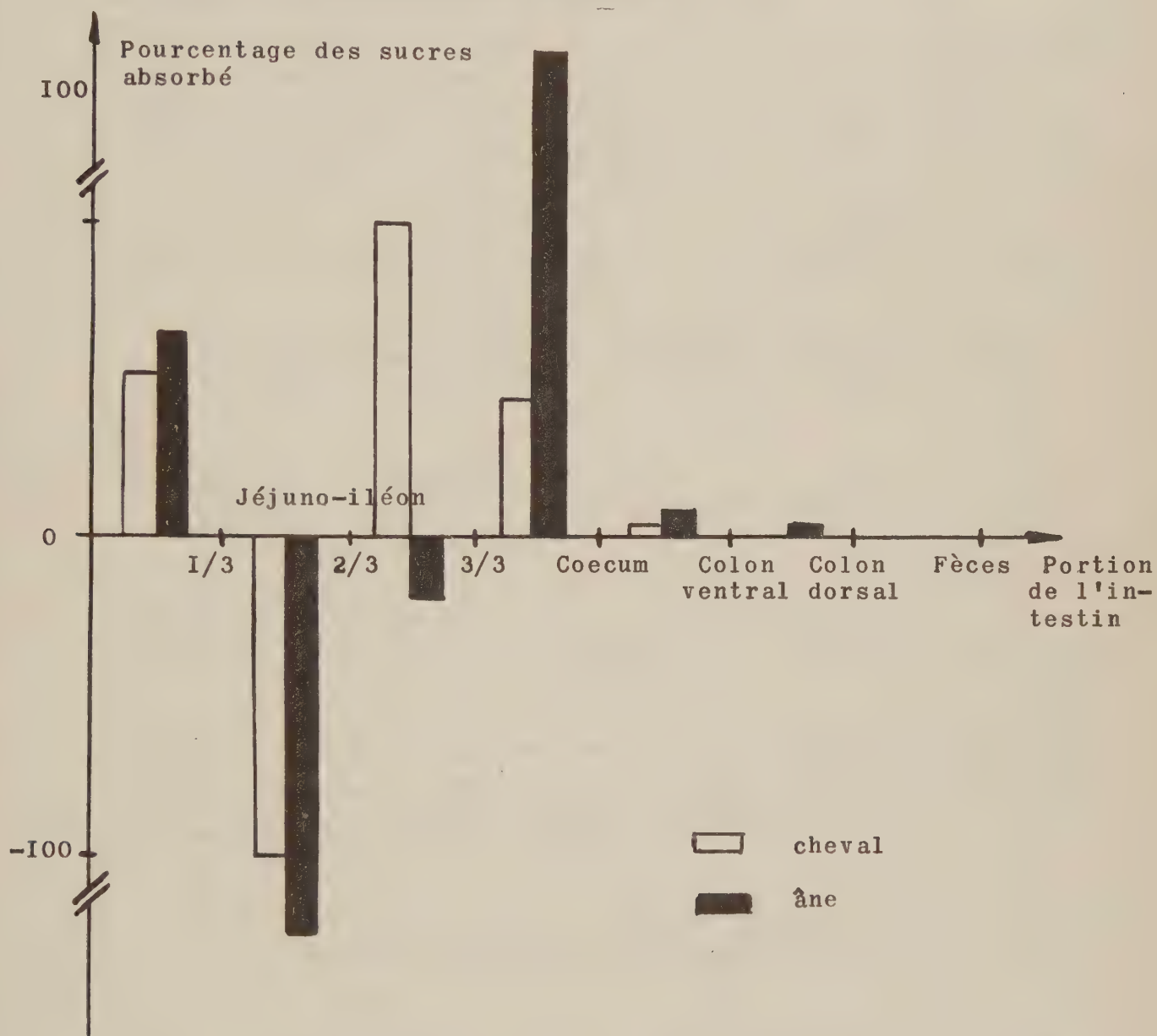
	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Estomac duodénum Premier tiers du jéjuno-iléon	55,9	65,5	-70,6
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-108,9	-148	33,3
Troisième tiers du jéjuno-iléon	100,7	-21,2	80,6
Coecum	44,8	185	50,1
Colon ventral	5,3	10,4	-0,7
Colon dorsal	0,3	5,7	2,7
Colon flottant	-0,8	0,7	1,6

Les sucres sont presque tous résorbés dans l'intestin grêle et il n'en reste qu'une faible proportion atteignant le gros intestin.

Pour ce qui est de l'influence de l'espèce et de la présentation alimentaire, nous ne notons pas de différence significative. Cependant avec le granulé, la digestibilité des sucres est négative dès le début de l'intestin, montrant ainsi l'hydrolyse plus précoce de l'amidon avec cette présentation.

DIAGRAMME n° 4

Pourcentage de sucres absorbés
dans chaque portion du tube digestif avec la farine
(comparaison cheval/âne)



L'étude de la digestibilité des sucres permet donc de confirmer ce que nous avons précédemment établi pour l'amidon. Une digestion duodénale donnant du glucose et un effet favorable de la granulation sur cette hydrolyse.

La digestibilité des sucres ressemble à celle des matières azotées par suite de la grande différence entre digestibilité réelle et apparente. Cependant nous allons voir que si on admet que tous les sucres apparus sont libérés par l'amidon nous pouvons calculer la digestibilité réelle.

Soit une portion de l'intestin dans laquelle il entre une quantité A_e d'amidon et S_e de sucres et de laquelle il sort A_s d'amidon et S_s de sucres. L'amidon par hydrolyse libère dans cette portion une quantité S_a de sucres. On peut alors écrire:

- Sucres provenant de l'amidon : $S_a = \frac{A_e - A_s}{0,9}$

- Digestibilité de l'amidon: $CUD(A) = \frac{A_e - A_s}{A_e} \times 100$

- Digestibilité apparente des sucres: $CUD_a(S) = \frac{S_e - S_s}{S_e} \times 100$

- Digestibilité réelle des sucres: $CUD_r(S) = \frac{S_e - (S_s - S_a)}{S_e} \times 100$

La résolution de ce système conduit à la relation ci-dessous valable uniquement pour l'intestin grêle où a lieu l'hydrolyse enzymatique de l'amidon libérant du glucose.

$$CUD_r(S) = CUD_a(S) + \frac{CUD(A) \times A_e}{0,9 S_e}$$

Nous pouvons donc calculer la digestibilité réelle des sucres pour chaque portion de l'intestin grêle, ce qui est intéressant sur le plan théorique. En effet la digestibilité dépendant seulement de deux paramètres peut être représentée par un schéma mathématique simple par opposition aux matières azotées dont l'évolution dépend des sécrétions, ce qui est beaucoup plus complexe. De plus nous remarquons qu'elle peut être supérieure à 100, d'autant plus que la ration est riche

en amidon et pauvre en sucres. Sur le plan pratique l'intérêt est beaucoup plus limité.

I - DIGESTIBILITE DES MATIERES MINERALES

Nous avons étudié l'utilisation digestive des cendres dans leur ensemble et les cas particuliers du calcium et du phosphore.

1 - Digestibilité des cendres

De grandes variations individuelles se traduisent par des écarts-types importants (tableau n° 16) mais nous pouvons néanmoins suivre l'évolution de la digestibilité des cendres.

Dans la partie initiale du tube digestif il apparaît des matières minérales provenant de la salive et des autres sécrétions qui renferment des minéraux intervenant dans les mécanismes physicochimiques et notamment dans la régulation du pH. Par la suite, les cendres sont absorbées progressivement de façon linéairement croissante (schéma n° 16). Ces mécanismes aboutissent à une digestibilité totale de 40 - 45 p100 et nous n'observons pas de variations en fonction de l'espèce ou de la présentation alimentaire. De toute façon ces résultats sont difficilement interprétables car les cendres sont constituées d'un grand nombre d'éléments parmi lesquels nous allons essayer de préciser la digestion du calcium et du phosphore.

2 - Digestibilité du calcium

La digestibilité totale est de 45 à 55 p100 et la résorption très précoce (tableau n°17). En effet chez l'âne dès le premier tiers du jéjuno-iléon, la digestibilité partielle est voisine de la digestibilité totale, ce qui nous indique une absorption très antérieure, vraisemblablement dans le duodénum.

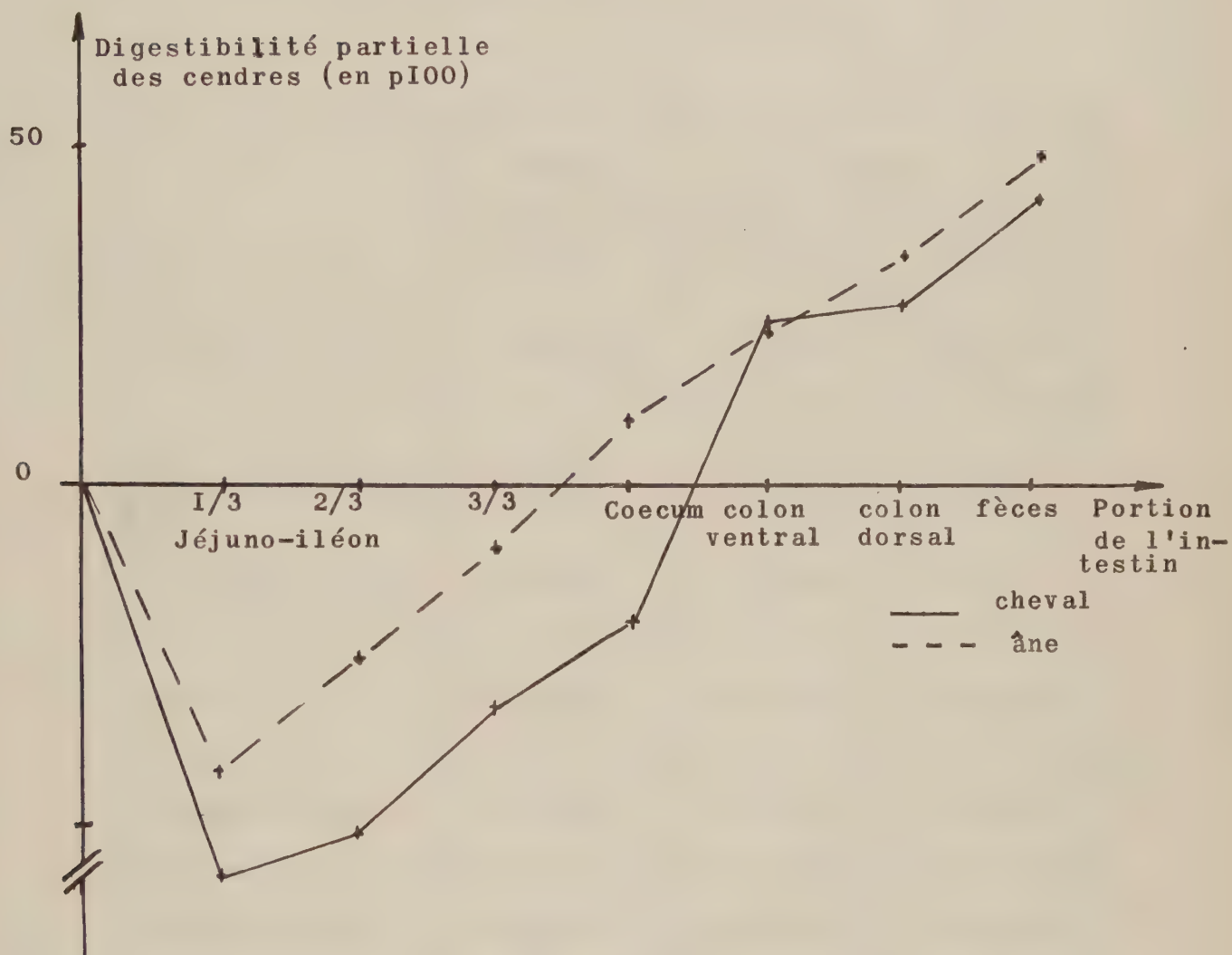
TABLEAU n° 16

Digestibilité partielle des cendres
(en p100)

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-468 $\pm$ 340	-43 $\pm$ 44,5	-28,3
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-54,1 $\pm$ 11,3	-27,7 $\pm$ 71,6	-25,5 $\pm$ 3
Troisième tiers du jéjuno-iléon	-35,3 $\pm$ 10	-10 $\pm$ 68,9	6,6 $\pm$ 29,2
Coecum	-20,5 $\pm$ 31,9	9,85 $\pm$ 14	2,9 $\pm$ 4
Côlon ventral	26,1 $\pm$ 11,4	25,2 $\pm$ 20,7	25,7 $\pm$ 10,3
Colon dorsal	28,8 $\pm$ 9,7	37 $\pm$ 9	34,2 $\pm$ 3,8
Fèces	43,9 $\pm$ 6,3	49,8 $\pm$ 9,6	39,1 $\pm$ 4,4

SCHEMA n° 16

Digestibilité partielle des cendres
avec la farine
 (comparaison cheval/âne)



Chez le cheval, c'est dans le deuxième tiers que cette absorption est la plus forte (diagramme n°5). La plus grande partie de l'utilisation calcique s'effectue donc dans l'intestin grêle alors que dans le reste de l'intestin il y a peu de modifications, ce qui se traduit sur les schémas n° 17 et 18 par des courbes de pente pratiquement nulle.

SCHRYVER et coll. (1970,13) signalent une élimination de calcium dans le gros intestin. Pour notre part nous observons seulement chez le cheval une diminution non significative de sa digestibilité. Nous pensons que cette élimination calcique est limitée et que dans nos essais elle est

TABLEAU n° 17
Digestibilité partielle du calcium
(en p100)

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	11,2 $\pm$ 30,5	45,1 $\pm$ 20,6	62,5 $\pm$ 17,8
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	37,9 $\pm$ 10	39,3 $\pm$ 17,5	62,8 $\pm$ 17,1
Troisième tiers du jéjuno-iléon	50,8 $\pm$ 7,6	45 $\pm$ 34,4	67,7 $\pm$ 15,8
Coecum	55,7 $\pm$ 3,1	51,4 $\pm$ 10,1	63,3 $\pm$ 8,6
Colon ventral	41,3 $\pm$ 9,5	48,4 $\pm$ 13,1	52,7 $\pm$ 1,9
Colon dorsal	42,1 $\pm$ 6,4	53,2 $\pm$ 4,5	59,7 $\pm$ 5,8
Fèces	46,1 $\pm$ 12,3	53,2 $\pm$ 12,9	56,5 $\pm$ 6,7

masquée par les variations individuelles importantes.

La digestion du calcium dans la partie antérieure du tube digestif est liée à la nécessité d'un pH acide, et chez l'âne elle est plus précoce et moins prolongée

TABLEAU n° 18

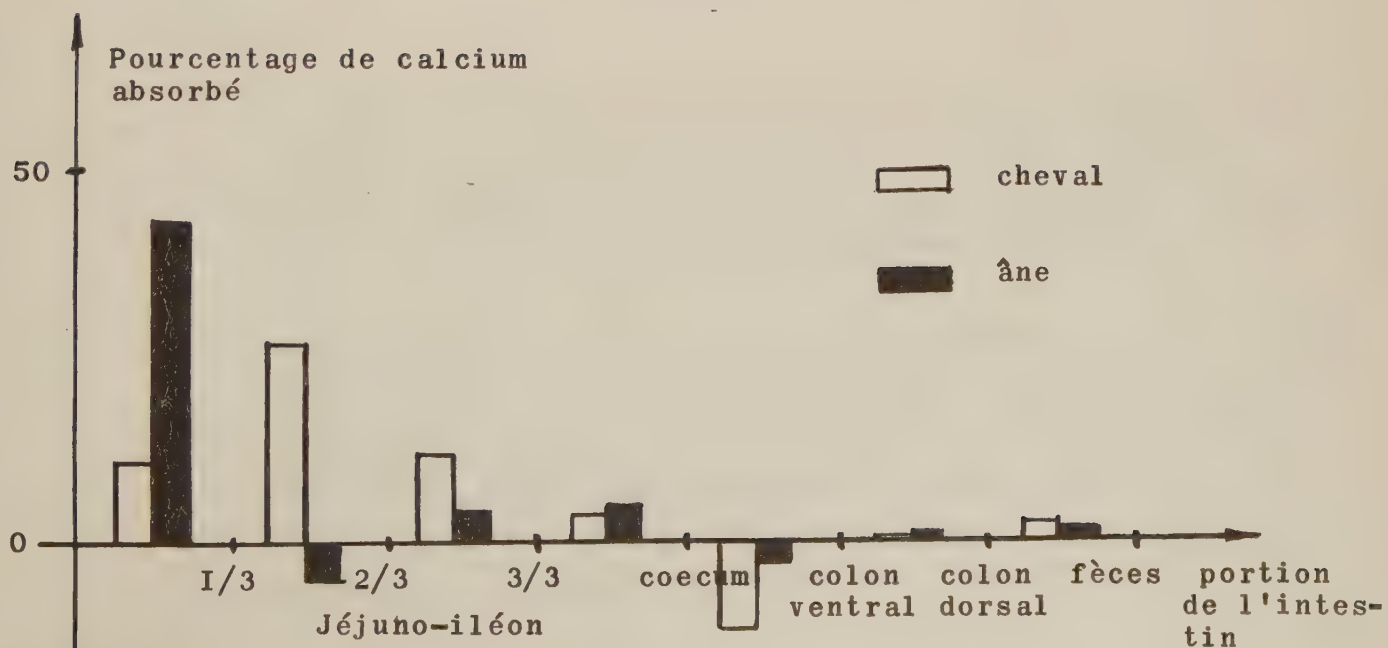
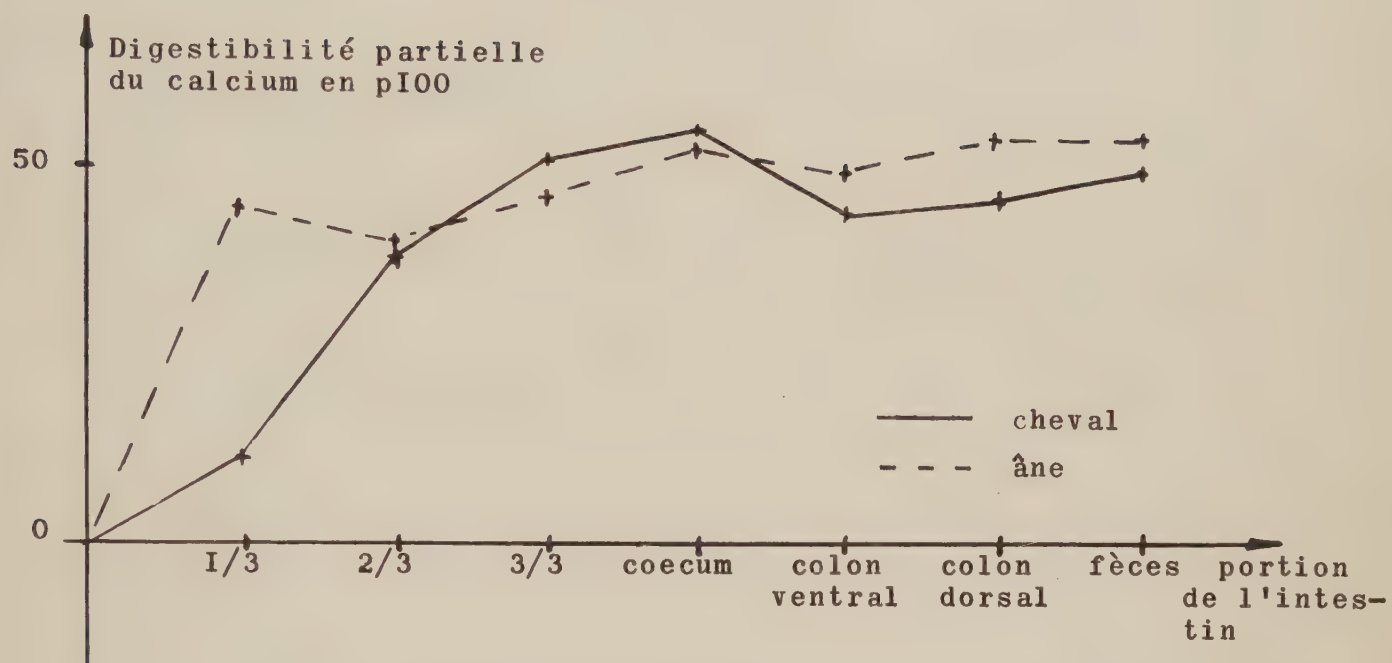
Pourcentage de calcium absorbé
dans chaque portion du tube digestif

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Estomac duodénum Premier tiers du jéjuno-iléon	11,2	45,1	62,5
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	26,7	-5,8	0,1
Troisième tiers du jéjuno-iléon	12,9	5,7	5,1
Coecum	4,9	6,4	-4,4
Colon ventral	-14,4	-3	-10,66
Colon dorsal	0,7	1,9	7
Colon flottant	4	3	-3,1

que chez le cheval. Nous pouvons faire l'hypothèse suivante : le pH duodénal serait plus bas chez l'âne mais se relèverait plus rapidement. Cette observation sur l'évolution du pH rejoint ce que nous avons dit à propos de la digestion de l'amidon.

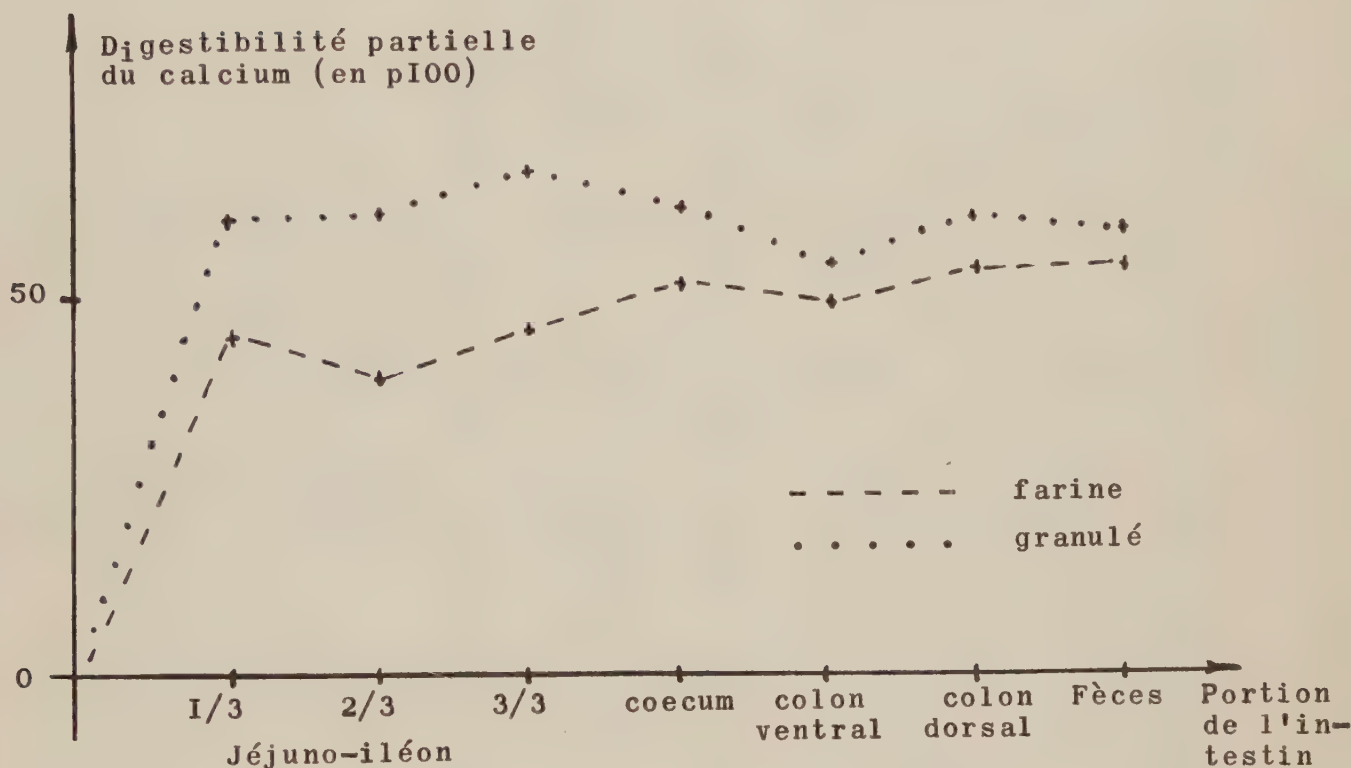
Pour ce qui est de la présentation de la ration nous ne voyons pas d'incidence.

SCHEMA n° 17



SCHEMA n° 18

Digestibilité partielle du calcium chez l'âne
(comparaison farine/granulé)



Le type de ration et le taux de calcium n'ont pas d'influence sur la digestibilité de cet élément (SCHRYVER et coll. 1970) (13) et la nature des compléments minéraux a peu d'importance (HINTZ et SCHRYVER 1972 (11)).

En conclusion la digestibilité du calcium chez les équidés est d'environ 50 pl00, l'absorption s'effectue en partie antérieure, dans la zone acide du tube digestif, et il y aurait une légère excrétion dans le gros intestin. A ce propos, il faut bien souligner que nous avons étudié la digestibilité apparente et que dans toutes les portions

TABLEAU n° 19

Digestibilité partielle du phosphore

(en p100)

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Premier tiers du jéjuno-iléon	-1089 $\pm$ 1000	-16,4 $\pm$ 50,3	-16,2 $\pm$ 79
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	-45,1 $\pm$ 22,1	24,4 $\pm$ 21	-5,4 $\pm$ 50
Troisième tiers du jéjuno-iléon	-34,5 $\pm$ 18	44,2 $\pm$ 23,5	0,3 $\pm$ 64
Coecum	-47,3 $\pm$ 25,2	39,4 $\pm$ 31,6	18,5 $\pm$ 31
Colon ventral	-40,6 $\pm$ 24,5	16,6 $\pm$ 15,6	-9,2 $\pm$ 41,2
Colon dorsal	-33,4 $\pm$ 22,4	18,4 $\pm$ 15	14,4 $\pm$ 26,6
Fèces	2,9 $\pm$ 18,4	49,1 $\pm$ 15,7	37 $\pm$ 31

il peut y avoir intervention de calcium endogène que nous ne pouvons mettre en évidence par cette expérimentation.

3 - Digestibilité du phosphore

Les résultats semblent difficilement interprétables et les grands écarts-types soulignent le comportement variable des équidés vis-à-vis du phosphore. Cependant, nous avons essayé d'apprécier l'utilisation de cet élément.

TABLEAU n° 20

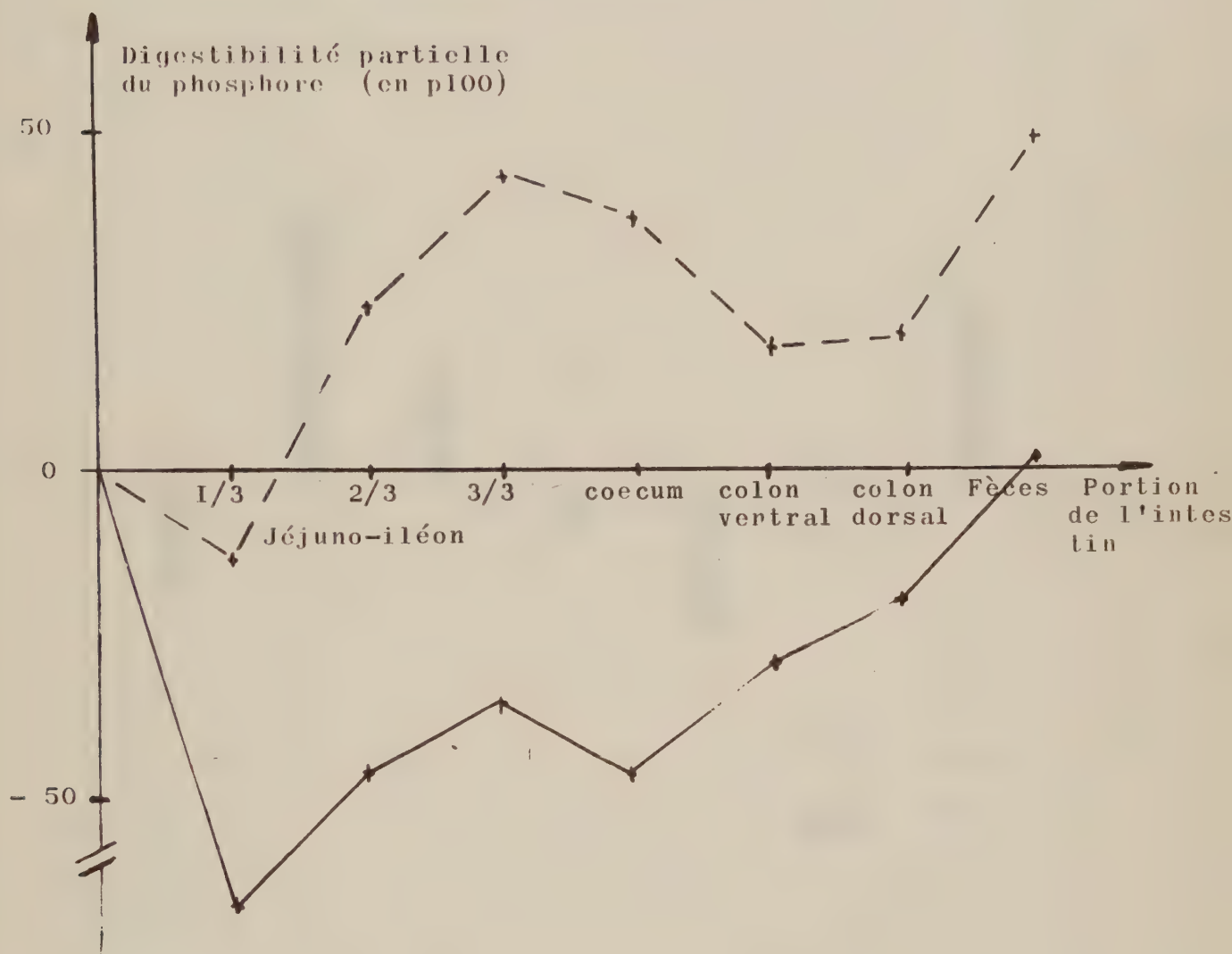
Pourcentage de phosphore absorbé
dans chaque portion du tube digestif

	CHEVAL	ANE	
	Farine	Farine	Granulé
Estomac duodénum Premier tiers du jéjuno-iléon	-1089	-16,4	-16,2
Deuxième tiers du jéjuno-iléon	1043	40,8	10,8
Troisième tiers du jéjuno-iléon	10,5	19,8	5,7
Coecum	-12,7	-4,9	-18,2
Colon ventral	6,6	-22,8	-27,7
Colon dorsal	7,2	1,8	23,5
Colon flottant	36,3	30,7	22,7

La digestibilité totale est faible et inférieure à celle du calcium (tableau n° 19). Un flux massif de phosphore se produit au début du tube digestif, d'origine salivaire, gastrique, pancréatique et biliaire. Dans la suite de l'intestin grêle, une partie est absorbée puis au début du gros intestin se produit un nouvel enrichissement du contenu digestif enfin c'est dans la partie terminale que se produit l'absorption la plus importante.

SCHEMA n° 19

Digestibilité partielle du phosphore avec la farine
(comparaison cheval/âne)

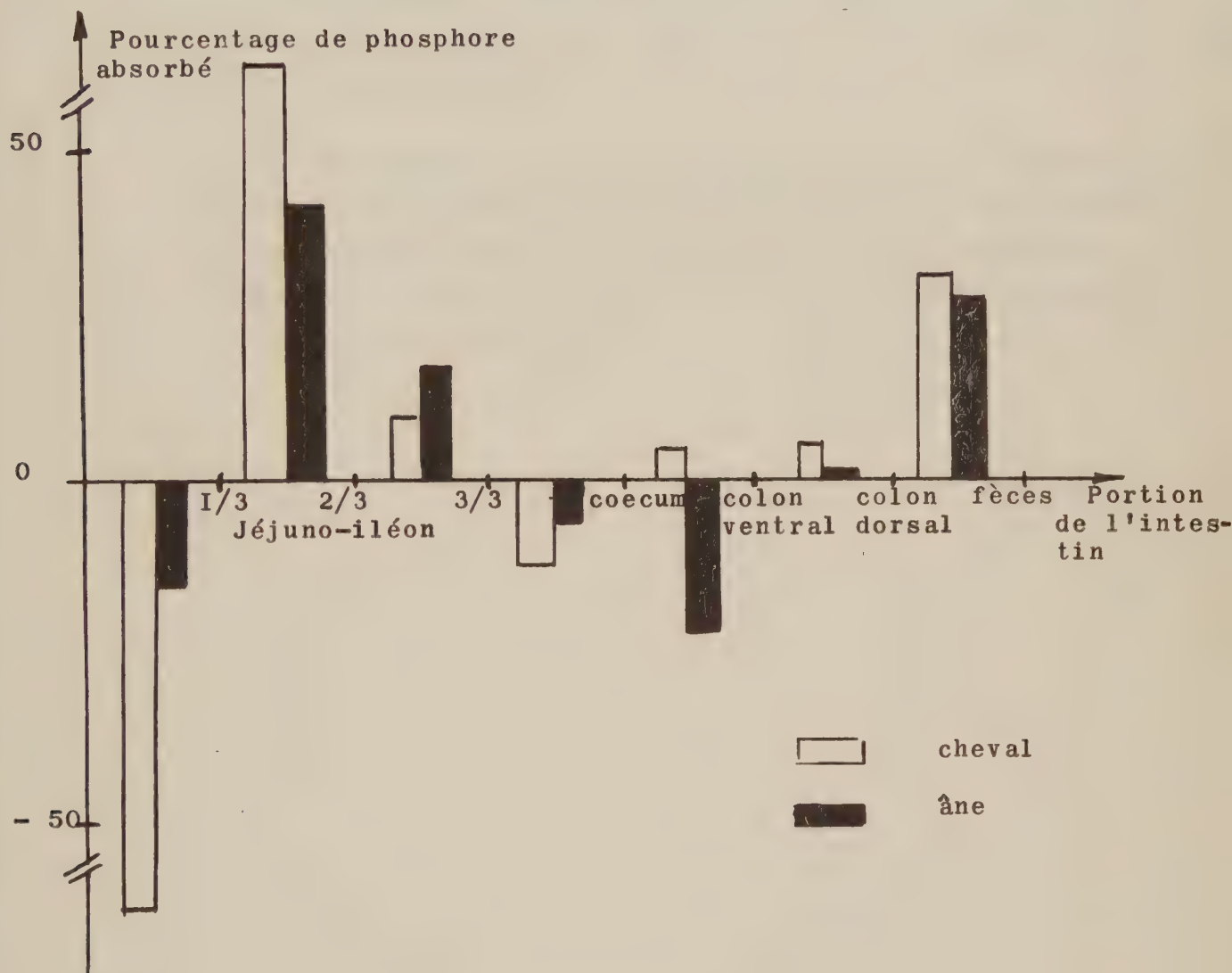


Cette évolution cyclique qui apparaît sur le diagramme n°6 doit être rapprochée du rôle du phosphore dans les systèmes tampons. En effet il se déverse une quantité importante de phosphore endogène au début du tube digestif où le pH est acide puis un nouvel apport a lieu dans les zones de fermentations où se forment les acides gras volatils. L'évolution du phosphore dans l'intestin semble donc liée à celle du pH.

DIAGRAMME n° 6

Pourcentage de phosphore absorbé dans chaque portion
du tube digestif avec la farine

(comparaison cheval/âne)



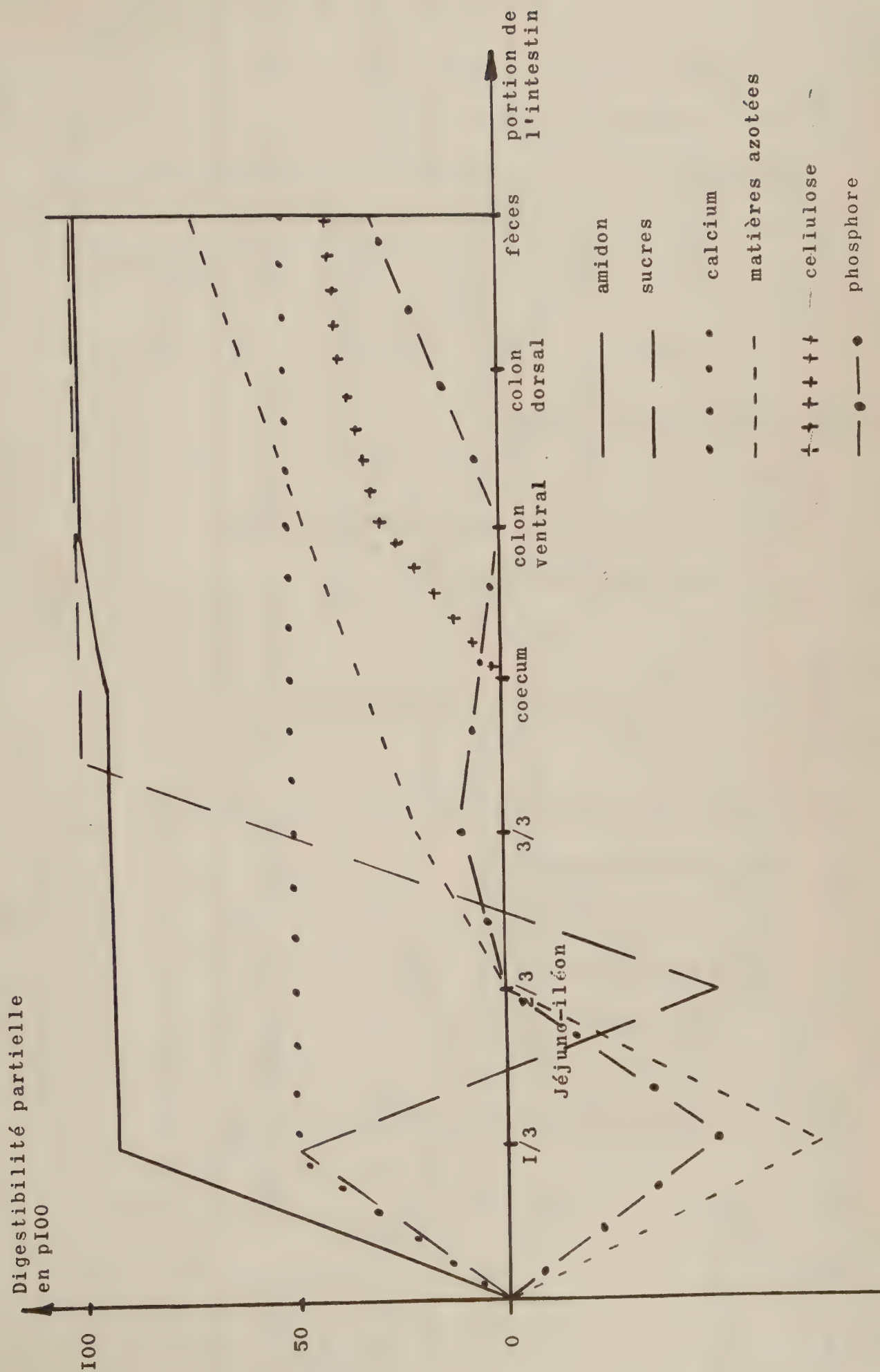
Pour ce qui est de l'influence de l'espèce, la digestibilité est plus élevée chez l'âne à tous les niveaux mais les écarts types importants ne permettent pas de déduire que ces différences sont significatives. Cependant chez l'âne, l'augmentation de la digestibilité du phosphore est plus rapide et nous rapprochons cela de l'hypothèse émise précédemment sur l'évolution comparée du pH. De plus le phosphore endogène semble plus important dans le gros intestin où la cellulose est dégradée plus fortement que chez le cheval.

La relation phosphore, pH semble s'affirmer et une démonstration plus précise serait nécessaire.

En conclusion le phosphore est absorbé essentiellement dans la partie terminale du gros intestin, la digestibilité est assez faible et les variations individuelles importantes ne permettent pas d'apprécier l'influence de l'espèce ni de la présentation alimentaire.

Cette expérimentation nous a permis de suivre l'évolution de la digestibilité partielle des principaux constituants de la ration et nous l'avons représenté sur le schéma n°20. Nous avons pu ainsi situer leurs principales zones d'absorption (schéma n° 21).

SCHEMA N° 20 Evolution du fluide intestinal chez les équidés



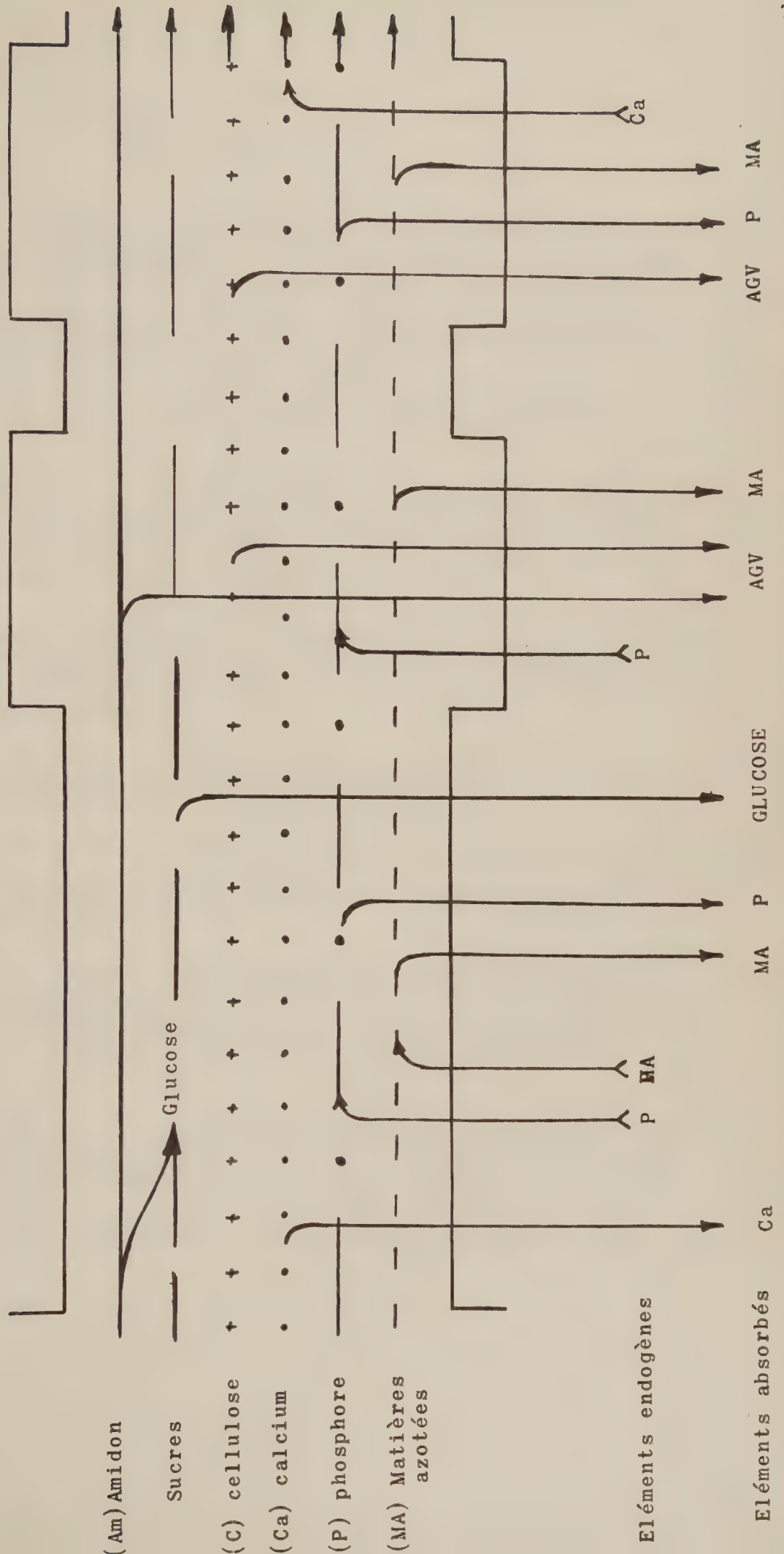
Sites de la digestion chez les équidés

COLON

COECUM

INTESTIN GRELE
(Digestion enzymatique)

(Digestion fermentaire)



CONCLUSION

Il est bien établi que chez le cheval, monogastrique herbivore, après la digestion enzymatique et l'absorption partielle de l'extractif non azoté et des protéines dans l'intestin grêle, des fermentations microbiennes très actives attaquent le substrat alimentaire dans le gros intestin, dégradant la cellulose avec production d'acides gras volatils, élaborant des vitamines du complexe B.

Nous avons donc essayé de préciser les deux phases de la digestion.

Les analyses des contenus des différents segments de l'intestin ont été effectuées sur 10 ânes et 4 chevaux, abattus en vue de servir aux travaux pratiques d'Anatomie, après avoir été adaptés à un aliment complet en farine, en granulé ou en expansé.

Il en ressort que l'usage d'un seul marqueur est insuffisant pour l'étude de la digestibilité de la cellulose dans l'intestin grêle par suite de la rétention sélective des grosses particules alimentaires au niveau de l'estomac.

La digestion chez les équidés s'effectue en deux phases dont l'importance relative dépend du type d'alimentation :

- Dans l'intestin grêle, 40 p100 des matières azotées, 90 à 95 p100 de l'amidon, la presque totalité des sucres, l'extract éthéré et le calcium sont digérés par voie enzymatique comme chez tout monogastrique.
- Dans le gros intestin, des fermentations semblables à celles des ruminants, des polygastriques, dégradent 40 p100 de la cellulose, 20 à 30 p100 des matières azotées, et 5 à 6 p100 de l'amidon. Le phosphore est absorbé tardivement et en quantité variable.

Chez le cheval par rapport à l'âne, la digestion précoecale est plus efficace mais au niveau du gros intestin les fermentations sont moins intenses. Ces différences physiologiques reposent sur des bases anatomiques, et démontrent que l'âne ne peut être utilisé comme animal d'expérimentation pour l'étude de la digestion chez le cheval.

De plus, chez l'âne, l'hydrolyse de l'amidon et l'absorption du calcium qui sont plus précoces mais plus fugaces, vont de pair avec la sécrétion moins abondante de phosphore endogène dans le jéjunum-iléon. En conséquence on peut supposer que le pH s'abaisse plus fortement dans le duodénum et remonte plus rapidement dans la suite de l'intestin grêle.

Cet essai, entravé par le manque d'homogénéité de la population expérimentale, et par la consommation de paille chez les animaux nourris avec de l'aliment expansé, mériterait d'être repris chez le cheval en réalisant des prélèvements au niveau de l'estomac et du duodénum de façon à situer exactement le lieu de digestion de l'amidon et à apprécier l'influence de la présentation alimentaire. Ceci pourrait être complété avantageusement par la fistulisation de l'intestin grêle.

Vu :

LE DIRECTEUR

de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon,

LE PROFESSEUR RESPONSABLE

de l'École Nationale Vétérinaire,

Vu :

LE DOYEN,

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

Le Président de l'Université Claude Bernard
Président du Comité de Coordination des études médicales

Vu et permis d'imprimer.....

LYON, le 30 JAN. 1973

19

~~LE DIRECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ~~

D. GERMAIN

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ARGENZIO (R.A.) and HINTZ (H.F.) - Glucose tolerance and effect of volatile fatty acid on plasma glucose concentration in ponies.
J. Anim. Sci. 1970, 30 (4), 514-518.

- 2 - ARGENZIO (R.A.) and HINTZ (H.F.) - Volatile fatty acid tolerance and effect of glucose and VFA on plasma insulin levels in ponies.
J. Nutrition, 1971, 101 (6), 723-729.

- 3 - ARGENZIO (R.A.) and HINTZ (H.F.) - Effect of diet on glucose entry and oxydation rates in ponies
J. Nutrition, 1972, 102 (7), 879-892.

- 4 - ARGENZIO (R.A.), LOWE (J.E.), PICKARD (D.W.) and STEVENS (C.E.)
Digesta passage and water exchange in the equine large intestine.
Am. J. Physiol., 1974, 226, (5), 1035-1042.

- 5 - ARGENZIO (R.A.), SOUTHWORTH (M.) and STEVENS (C.E.)
Sites of organic acid production and absorption in the equine gastrointestinal tract.
Am. J. Physiol., 1974, 226 (5), 1043-1050.

- 6 - BORGIDA (L.P.) - Floconnage et expansion de l'orge et du maïs.
Journées de Rech. Porcine en France, 1975, 99-104.

- 7 - CHARLIER (C.), VAN EENAEME (E), CANART (B), PONDANT (A),
LAMBOT (O) et BIENFAIT (J.M.) - Méthode de dosage semi automatique de l'amidon et du glucose dans les aliments pour bétail.
Ann.Med.Vet.1974, 118, 281-294.

- 8 - GOODMAN (H.M.), VANDER NOT (G.W.), TROUT (J.R.) and SQIBB (R.L.)
Determination of energy source utilized by the light horse
J. Anim.Sci.1973, 37 (1), 56-62.
- 9 - HINTZ (H.F.), HOGUE (D.E.), WALKER (E.F.), LOWE (Jrand J.E.)
and SCHRYVER (H.F.) - Apparent digestion in various
segments of the digestive tract of ponies fed diets
with varying roughage-grain ratios.
J. Anim.Sci. 1971, 32 (2), 245-251.
- 10 - HINTZ (H.F.), ARGENZIO (R.A.) and SCHRYVER (H.F.)
Digestion coefficients, blood glucose levels and
molar pourcentage of volatile acids in the intestinal
fluid of ponies fed varying forage grain ratios.
J. Anim. Sci. 1971, 33 (5), 992-995.
- 11 - HINTZ (H.F.) and SCHRYVER (H.F.) - Availability to ponies of
calcium and phosphorus from various supplements.
J. Anim. Sci. 1972, 34 (6), 979-980.
- 12 - REITNOUR (C.M.) and TREECE (J.M.) - Relationship of nitrogen
source to certain blood components and nitrogen balance
in the equine.
J. Anim. Sci. 1971, 32 (3), 487-490.
- 13 - SCHRYVER (H.F.), CRAIG (P.H.), HINTZ (H.F.), HOGUE (D.E.) and
LOWE (J.E.) - The site of calcium absorption in the
horse.
J. Nutrition. 1970, 100 (10), 1127-1132.
- 14 - SCHRYVER (H.F.), HINTZ (H.F.), CRAIG (P.H.), HOGUE (D.E.) and
LOWE (J.E.) - Site of phosphorus absorption from the
intestine of the horse.
J. Nutrition. 1972, 102 (1), 143-148.

- 15 - TAGAND et BARONE (R.) - Anatomie des équidés domestiques.
Tome II : Splanchnologie et angéiologie.
Fascicule I : Appareil digestif.
(Laboratoire d'Anatomie, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon).
- 16 - WOLTER (R.) et VELANDIA (J.) - Digestion des fourrages chez l'âne.
Rec. Med. Vet. 1970, 146 (2), 141-152.
- 17 - WOLTER (R.) - L'alimentation du cheval.
I volume, 180 pages, Vigot Frères, Paris 1975.
- 18 - WOLTER (R.), DURIX (Andrée) LETOURNEAU (J.C.) -
Influence du mode de présentation d'un aliment complet sur la vitesse du transit et la digestibilité chez le poney.
Ann. Zootech., 1976, sous presse.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I</u> : CONDUITE DE L'EXPERIMENTATION.....	3
A - Réalisation et stockage des échantillons.....	5
1 - Les aliments.....	5
2 - Les animaux.....	6
3 - Récolte des matières fécales.....	7
4 - Récolte du contenu intestinal.....	7
5 - Traitement immédiat et stockage des échantillons.....	8
B - Techniques d'analyse.....	9
1 - Dosage du chrome.....	9
2 - Dosage des éléments usuels.....	10
a) Matières azotées.....	10
b) Cellulose.....	10
c) cendres, calcium, phosphore.....	11
d) extrait éthéré.....	11
3 - Dosage de l'amidon.....	11
a) Extraction des sucres éthérolsolubles	13
b) Hydrolyse de l'amidon.....	13
c) Dosage colorimétrique du glucose.....	13
C - Expression des résultats	15
1 - Digestibilité totale.....	15
2 - Digestibilité partielle.....	16
3 - Pourcentage digéré dans une portion du tube digestif.....	16
4 - Digestibilité locale.....	17

CHAPITRE II : RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION.....	19
A - Comparaison du poids total et de chacun des segments de l'intestin chez le cheval et l'âne.....	19
B - Humidité du contenu intestinal.....	22
1 - Influence de l'espèce.....	24
2 - Influence de la présentation.....	26
C - Digestibilité de la matière sèche.....	27
D - Digestibilité de la cellulose.....	33
E - Digestibilité des matières azotées.....	40
F - Digestibilité de l'extrait éthéré.....	46
G - Digestibilité de l'amidon.....	49
1 - Influence de l'espèce.....	54
2 - Influence de la présentation.....	56
H - Digestibilité des sucres.....	57
I - Digestibilité des matières minérales.....	64
1 - Digestibilité des cendres.....	64
2 - Digestibilité du calcium.....	64
3 - Digestibilité du phosphore.....	71
CONCLUSION.....	78
BIBLIOGRAPHIE	80

